www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

1e JAARGANG NUMMER 9 SEPTEMBER 1936

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELENDE TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUCTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

REDACTIE: HET NATUURKUNDIG LABORATORIUM DER N.V. PHILIPS'GLOEILAMPENFABRIEKEN, EINDHOVEN

EIGENSCHAPPEN EN TOEPASSINGEN VAN KUNSTHARSPRODUCTEN

door R. HOUWINK.

Samenvatting. Met een enkel woord wordt toegelicht wat kunstharsen, van chemisch standpunt beschouwd, zijn, en op welke grondslagen als gevolg daarvan hun fabricage berust. Aangezien kunstharsproducten van huis uit electrotechnische isolatiematerialen zijn, worden hun eigenschappen met die van verschillende andere isolatiematerialen vergeleken en wordt nagegaan, in welke opzichten het „Philite" van de andere afwijkt. Aan de hand hiervan worden verschillende toepassingsmogelijkheden besproken. Tenslotte wordt ingegaan op enkele bijzondere „Philite"-materialen, welke speciale eigenschappen bezitten, die aan bepaalde verbruikseischen zijn aangepast.

Inleiding

De steeds groeiende electrotechnische industrie vraagt voortdurend naar goedkoopere en betere grondstoffen. Deze vraag is nog lang niet tot stilstand gekomen, getuige in het bijzonder de vraag naar materialen met kleine diëlectrische verliezen (lage tg δ), welke in de laatste jaren voor de kortegolf-techniek dringend naar voren is gekomen. De vraag blijft daarbij niet beperkt tot een isolatiemateriaal als zoodanig, doch dit moet ook nog aan vele bijkomstige eischen voldoen. Zoo is bijv. een materiaal als mica, dat zich voor het fabriceeren van enkele stuks uitstekend zou leenen, dikwijls voor massafabricage ongeschikt, zoodra het er om gaat langs goedkoope weg gecompliceerde vormstukken te maken, welke aan hooge eischen van maattoleranties moeten voldoen. Het spreekt vanzelf, dat dergelijke vragen geheel nieuwe eischen stellen aan de techniek der isolatiestoffen, temeer waar de gebruiker gewoonlijk niet alleen let op isolatie-eigenschappen en mechanische sterkte, maar bovendien dikwijls hooge schoonheidseischen stelt, waaraan alleen door een zeer geperfectionneerd fabricage-proces is te voldoen.

Wij hopen hieronder aan te toonen, dat één der hoofdredenen, waarom het „Philite", een kunstharsproduct, waarbij de vormgeving door warm persen geschiedt, zulk een ruime toepassing heeft gekregen, voornamelijk hierin is gelegen, dat het een uitgebreide combinatie van gunstige eigenschappen in zich vereenigt. In *fig. 1* zijn enkele uit „Philite" vervaardigde stukken voorgesteld en reeds hier blijkt, welke groote verscheidenheid er in vormgeving en toepassing mogelijk is.

Fig. 1. Verschillende stukken voor technische toepassingen vervaardigd uit „Philite".

Grondslagen voor de fabricage van kunsthars

Nog slechts voor een twintigtal jaren werden verharsingsproducten, indien deze bij chemische reacties ontstonden, als waardeloos weggeworpen. Thans is de situatie juist omgekeerd en kan men in verschillende industrie-laboratoria een systematisch zoeken naar nieuwe kunstharsproducten waarnemen. Onder de groote verscheidenheid van kunstharsen, welke thans bekend is, willen wij hier

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

alleen wijzen op de phenolformaldehyde harsen, omdat deze in verschillende samenstellingen van „Philite" een bij uitstek belangrijke rol spelen. Het zou ons te ver voeren op de chemie dezer harsen diep in te gaan, maar toch willen wij, aan de hand van *fig.* 2, trachten duidelijk te maken, waarop de vorming van zulk een hars berust. Laat men nl. het phenol en het formaldehyde, zooals in fig. 2 is voorgesteld, bij verhoogde temperatuur op elkaar inwerken, dan leggen deze moleculen zich aan elkaar tot een reactieproduct, dat in deze figuur als „hars" is aangeduid. Men ziet, dat hier feitelijk door aangroeien een zeer groot molecuul ontstaat en inderdaad zijn er redenen om aan te nemen, dat men bij een persproduct van kunsthars (afgezien van vulstoffen, welke om bijzondere redenen zijn toegevoegd) met één groot molecuul heeft te maken. Deze geleidelijke groei nu tot wat men noemt een macromolecuul vormt de basis voor de geheele fabricage van „Philite". Immers, indien men eenerzijds bedenkt, dat de uitgangsstoffen vloeistoffen (of althans gemakkelijk smeltbare vaste stoffen) zijn en indien men zich anderzijds realiseert, dat het eindproduct een harde substantie is, welke er uiterlijk zoo ongeveer als eboniet uitziet, dan is het duidelijk, dat er zich bij het voltrekken van het fabricageproces belangrijke veranderingen hebben afgespeeld. In de practijk kan men waarnemen, dat de overgang tot het vaste eindproduct zeer geleidelijk plaats vindt. Eerst vormen het phenol en formaldehyde een harsachtige, stroperige vloeistof, welke in consistentie ongeveer met asphalt overeenkomt, om tenslotte in een zeer hard en onsmeltbaar eindproduct over te gaan. Wezenlijk is hierbij voor ons het feit, dat een asphaltachtig tusschenstadium wordt bereikt, want in dit stadium kan het materiaal in warme matrijzen (150°C) onder toepassing van hydraulische druk gemakkelijk tot vloeien worden gebracht, waarbij de kunstharsmassa de matrijzen tot in alle hoeken vult. Houdt men het materiaal daarna nog enkele minuten op die hooge temperatuur, dan gaat het zooeven beschreven hardingsproces door en het gevolg is, dat het product in de vorm hard wordt en dus ook uit de warme vorm gehaald kan worden, zonder dat deze afgekoeld behoeft te worden.

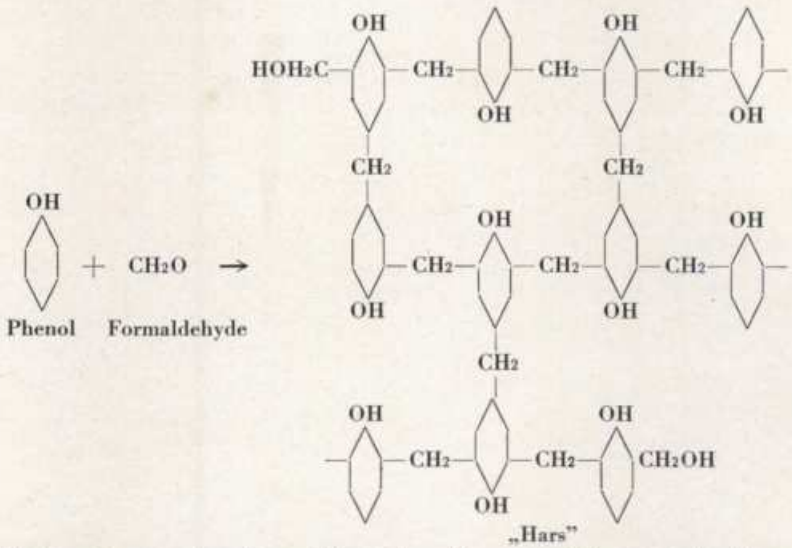

Fig. 2. Vorming van phenolformaldehyde hars. Deze voorstelling is sterk schematisch. Men moet zich de benzeen kernen driedimensionaal, doch op een niet-regelmatig gerangschikte wijze aan elkaar gekoppeld denken, zoodat men hier niet van een „patroon" kan spreken.

Wij ontmoeten hier dus een principiëel verschil in vormgevingsmogelijkheid met een materiaal als gietijzer. Het gietijzer immers wordt gesmolten en in een koude vorm gegoten, waarin men het laat afkoelen; de grondstof voor „Philite" wordt in een warme vorm gebracht en wordt daarin juist tengevolge van de hooge temperatuur door een chemische reactie hard.

Om deze essentiëele bijzonderheden nog eens goed te laten spreken, vergelijken wij het vormgevingsproces met dat, hetwelk men zou moeten toepassen, indien men vormstukken uit een materiaal als asphalt zou willen maken.

Men kan asphalt ook in een warme vorm brengen en onder druk laten vloeien, evenals men dit met „Philite" doet, doch asphalt mist de eigenschap om daarbij chemisch te reageeren en dientengevolge hard te worden. Om dus het asphalt-persstuk uit de vorm te krijgen zou men deze moeten afkoelen en hem opnieuw moeten verwarmen, teneinde met de fabricage van het volgende persstuk te kunnen beginnen. Bij hardbare kunstharsproducten is dit

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Digitized by www.freeservicemanuals.info

uiteraard niet het geval, waardoor de mogelijkheid van een zeer elegante fabricage geschapen is. Zooals gewoonlijk heeft ook deze medaille een keerzijde en wel, dat, zooals de praktijk heeft geleerd, alleen een goede fabricage mogelijk is, wanneer voor het vormen hooge drukken in de nabijheid van 300 kg/cm² worden toegepast. Dit stelt zeer hooge eischen aan het matrijzenmateriaal, de reden waarom de matrijzen gewoonlijk vrij kostbaar zijn.

Fig. 3 toont eenige veranderingen, die zich gedurende het persen in de kunstharsmassa voltrekken. Het blijkt, dat de mechanische sterkte, uitgedrukt in de trekvastheid T, aanzienlijk toeneemt, wat eveneens het geval is met de warmtebestendigheid W. Dit wordt verklaarbaar, wanneer men nogmaals het reactieproduct uit fig. 2 in oogenschouw neemt en bedenkt, dat de verschillende chemische bindingen, die in dit molecuul voorkomen, een hooge energie-inhoud (100 tot 200 kgcal per gramaeq.) hebben. Dit houdt immers in, dat men een aanzienlijke hoeveelheid energie, hetzij in de vorm van mechanische, hetzij in de vorm van thermische energie moet toevoegen om die bindingen weder te verbreken en dit is juist de grondslag voor een groote mechanische sterkte en warmtebestendigheid.

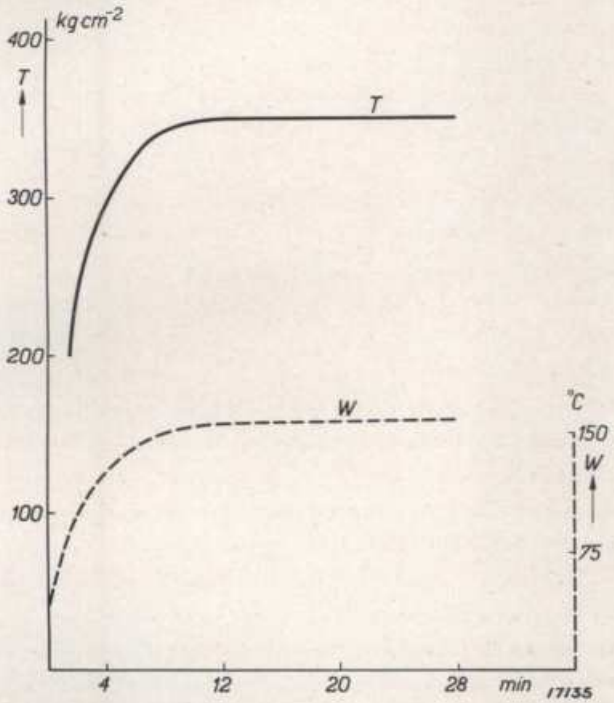

Fig. 3. Toename der trekvastheid T en warmtebestendigheid W van een kunstharsmassa bij toenemende perstijd.

Wij hebben in dit overzicht alleen het bestanddeel kunsthars beschouwd, doch de vulstoffen, die in het „Philite" verwerkt worden, niet besproken, aangezien dit buiten het bestek van ons artikel valt. In dit verband willen wij slechts opmerken, dat deze vulstoffen zoowel de electrische als ook de mechanische eigenschappen van het eindproduct nog in aanzienlijke mate kunnen beinvloeden, zoodat men door combinatie van verschillende soorten van vulstoffen een zeer uitgebreide mogelijkheid van materiaalkeuze verkrijgt. Dit is dan ook één der redenen waarom, zooals reeds werd opgemerkt, het „Philite" voor velerlei toepassingen zoo goed geschikt is te maken.

Vergelijking met andere isolatiematerialen

Reeds werd opgemerkt, dat in „Philite" een combinatie van verschillende gunstige eigenschappen vereenigd is en het juist om deze reden dikwijls andere isolatiematerialen de loef afsteekt. Om dit nader toe te lichten, is in *tabel 1* een overzicht gegeven van de belangrijkste eischen, waarop het bij de keuze van isolatiemateriaal gewoonlijk aankomt. Dit overzicht moet als globaal worden beschouwd, omdat het onze bedoeling alleen is een vergelijking op grond van enkele hoofdeigenschappen door te voeren. Straks zal blijken, welke andere eigen-

Tabel 1. Vergelijking der eigenschappen van verschillend isolatiemateriaal.

	Trekvastheid	Schokweerstand	Bestand tegen een temperatuur van		Doorslagspanning	S.G.	Toleranties (ca.)	Nabewerking
			langdurig	kort				
	kg/cm²	kgcm/cm²	°C	°C	kV/mm	gr/cm³	%	
„Philite"-persmateriaal (Type S)	350	7	140	160	8 *)	1,35	0,2	goed
„Philite"-plaatmateriaal („Philitax")	750	30	140	150	25	1,35	—	goed
Porselein	300	2	ca. 1000	ca. 1000	30	2,5	1	slecht
Cellulose-derivaten	300	50	50	50	10	1,3—1,6	0,1	zeer goed
Eboniet	400	10	60	60	10	1,1—1,7	—	zeer goed

*) Andere soorten „Philite" hebben hoogere doorslagspanningen, tot 30 kV/mm.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Digitized by www.freeservicemanuals.info

schappen nog nader in het geding kunnen komen en welke mogelijkheden het Philite ten opzichte daarvan biedt.

Let men op de voor isolatiematerialen in eerste instantie belangrijke eigenschap, de electrische doorslagspanning, dan zien wij, dat deze voor *Philite* S, waarmede de voor normale toepassingen meest gebruikelijke soort is aangeduid, een zeer redelijke, doch geen bijzonder hooge waarde van circa 8 kV per mm bereikt. Voor normale zwakstroomtoepassingen is deze doorslagspanning echter ruim voldoende, zoodat in dit opzicht de hooge waarden, die voor de andere materialen vermeld staan, van hoegenaamd geen belang zijn. Indien echter voor hoogspanningsdoeleinden bijzondere eischen worden gesteld, kan hieraan worden voldaan, zooals straks uit tabel 2 zal blijken.

Wij willen nu aan de hand van tabel 1 de meest belangrijke verdere eigenschappen van andere isolatiematerialen vergelijken met die van het Philite S. Kijken wij bijvoorbeeld eerst naar de mechanische sterkte, die wordt uitgedrukt door de combinatie van trekvastheid en schokweerstand, dan blijkt, dat porselein met een schokweerstand van 2 kgcm/cm² een poover figuur slaat. Het is dan ook genoegzaam bekend, hoezeer de breekbaarheid van porselein voor vele toepassingen een beletsel vormt. Let men op de temperatuurbestendigheid, dan blijkt, dat juist materialen als cellulosederivaten en eboniet, welke mechanisch zeer gunstig liggen, thans zeer slecht voor den dag komen en wel in het bijzonder, omdat hun warmtebestendigheid beneden 100°C ligt, een voor de techniek uiterst belangrijke temperatuur. Hier, in de temperatuurbestendigheid, ligt natuurlijk voor het porselein een onmiskenbare voorsprong. Men kan dan ook wel als algemeene regel zeggen, dat in dit opzicht dergelijke anorganische materialen een voorsprong hebben, welke nimmer door organische, zooals kunstharsproducten, benaderd zal kunnen worden. Dit terrein zal dan ook altijd voor de anorganische stoffen gereserveerd moeten blijven, maar de toepassingen, waarbij zulke hooge temperaturen niet in aanmerking komen, zijn zoo talrijk, dat er voor de organische isolatoren nog een zeer ruim veld overblijft. En juist hier vervullen vele soorten „Philite" een zeer belangrijke rol, omdat bijv. aan zekere temperatuur-eischen in de tropen gemakkelijk kan worden voldaan, zelfs indien daar in electrotechnische apparaten nog bepaalde, niet overdreven, warmteeffecten optreden.

Het soortelijk gewicht is vanzelfsprekend gewoonlijk geen eigenschap, waarop de keuze van een materiaal zal stranden, maar toch is er in het algemeen een tendentie naar licht construeeren merkbaar en uit dien hoofde slaat het Philite met zijn S.G. van 1,35 een zeer behoorlijk figuur.

Thans komen wij aan het punt der maattoleranties hetwelk dikwijls van beslissende beteekenis is. Vooral bij massa-fabricage wordt de materiaalkeuze zeer dikwijls beheerscht door de vraag, binnen welke nauwkeurigheidsgrenzen een vormstuk te maken is. Juist hier ligt één der redenen, waarom zeer vaak porselein met zijn tolerantie-mogelijkheid van circa 1%, die wel 5 tot 10 maal zoo groot is als bij Philite, niet wordt gekozen. Dit geldt temeer waar, zooals uit de laatste kolom blijkt, het porselein zeer slecht is na te bewerken, zoodat, indien er eenmaal maatafwijkingen zijn, deze moeilijk hersteld kunnen worden.

Samenvattend kan men dus zeggen, dat het Philite ten opzichte van porselein in het bijzonder voordeelen biedt, voor wat betreft zijn grootere schokvastheid, zijn laag S.G. en zijn gunstige maattoleranties. Daarnaast is ook een voordeel, dat het een bijzonder aantrekkelijk uiterlijk heeft, waarbij een zeer uitgebreide mogelijkheid van kleuren aanwezig is. Bovendien zijn de kleuren door en door, d.w.z. ze zijn niet verkregen door het opbrengen van een gemakkelijk te beschadigen laklaag.

Voor toepassingen in de buitenlucht of onder omstandigheden, waarbij zeer hooge temperaturen, boven 150° C optreden, zal natuurlijk porselein boven „Philite" verkozen moeten worden.

Vergelijkt men het Philite S met cellulosederivaten en eboniet, dan is het vooral de zeer ongunstige warmtebestendigheid van deze laatste twee materialen, die dikwijls een groot bezwaar beteekent. Wij zien dus, dat ieder van de in tabel 1 genoemde isolatiematerialen (afgezien van het „Philite" plaatmateriaal, waarover wij het later nog zullen hebben) in ten minste één belangrijke eigenschap aanzienlijk achter staat bij het Philite S.

Wij willen tenslotte nog als bijzondere mogelijkheid bij de fabricage van het „Philite" vermelden, dat men er op zeer elegante wijze metaaldeelen of andere vreemde materialen in kan bevestigen. *Fig. 4* is een röntgenfoto van een persstuk uitgevoerd in een speciaal soort „Philite" voor hoogspanningsdoeleinden en geeft aan, hoe de metalen onderdeelen geheel in het kunstharsproduct ingebed zitten. In *Fig. 5* is schematisch voorgesteld, hoe het inpersen van zulk een metalen onderdeel, hier het moertje *M*, geschiedt. Het moertje wordt op de pen *P* van de ondermatrijs *O* geplaatst en daarna wordt het persmateriaal (*Ph*) in poeder-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

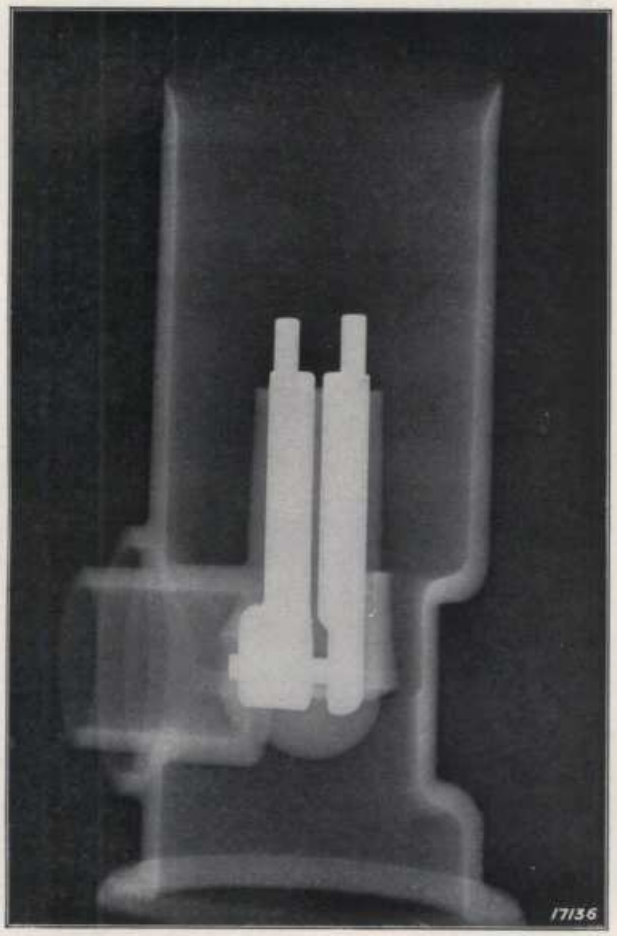

Fig. 4. Röntgenopname van een persstuk uit „Philite", waarin metalen onderdeelen (wit op de foto) geperst zijn.

vorm in de matrijs geschud (Fig. 5b). Gedurende het persprocédé vult het materiaal niet alleen alle holten van de matrijs, maar tevens vloeit het geheel om het metaalstukje heen (Fig. 5c) en men ziet in Fig. 5d, hoe het „Philite" (*Ph*), nadat het in de matrijs is hard geworden, het messing moertje *M* geheel omsluit en stevig vasthoudt.

Ook hier profiteert men weder van de mogelijkheid om gunstige maattoleranties te verkrijgen, want de plaats van het messing moertje wordt geheel bepaald door de pen *P*, die een vaste plaats in de ondermatrijs *O* heeft. Door deze wijze van inpersen van metalen deelen is men ontslagen van de omslachtige methode om eerst in een persstuk gaatjes te moeten boren en hierin het metaal te moeten vastkitten of vastschroeven, met alle daaraan verbonden bezwaren.

Speciale soorten „Philite"

Wij willen er thans toe overgaan enkele materialen te bespreken, die in bepaalde opzichten afwijken van het hierboven genoemde Philite S, welk laatste materiaal wij dus als vergelijkingsstandaard beschouwen.

Het is duidelijk, dat, waar er in de techniek zoo vele uiteenloopende eischen aan een isolatiemateriaal worden gesteld, er moeilijk één stof zal zijn te vinden, die aan al deze eischen voldoet. Om deze reden zijn wij er dan ook toe overgegaan een groot aantal speciale soorten „Philite" te ontwikkelen en deze in het fabricageprogramma op te nemen. *Tabel 2* geeft een overzicht van enkele dezer materialen en duidelijkheidshalve zijn hierin verschillende eigenschappen van het vergelijkingsmateriaal Philite S nogmaals in getallen uitgedrukt. Voor de daarop volgende soorten „Philite" zijn telkenmale alleen maar dàn getallenwaarden opgegeven, wanneer de eigenschappen kennelijk van die van het Philite S verschillen.

Een eerste vraag, die bij gebruikers van kunstharsen dikwijls naar voren komt, is die naar een h o o g e r e w a r m t e b e s t e n d i g h e i d. Het spreekt vanzelf, dat met een organisch materiaal als kunsthars in dit opzicht niet bereikbaar is, wat

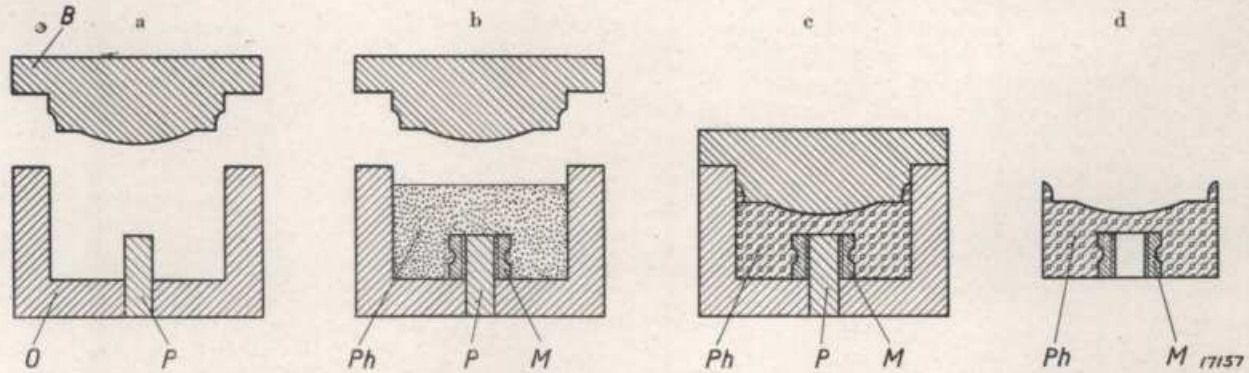

Fig. 5. Fabricage bij het persen van een messing moertje *M* in een stuk „Philite" *Ph*, dat wordt gevormd met behulp van een ondermatrijs *O* en een bovenmatrijs *B*.
a) geopende matrijs.
b) inplaatsen van het messing moertje *M* en vullen met kunstharsmassa.
c) sluiten der matrijs.
d) stuk „Philite" met ingeperst moertje.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Tabel 2. Enkele hoofdeigenschappen van speciale „Philite"-materialen *).

	Trek-vastheid	Schok-weerstand	Bestand tegen temp. (langdurig)	Doorslag-spanning	Verlieshoek bij 200 m ($1{,}5 \cdot 10^6$ Hertz)	Opmerkingen
	kg/cm²	kgcm/cm²	°C	kV/mm	$10^4 \cdot \mathrm{tg}\,\delta$	
„Philite" S	350	7	140	8	500	Zie tabel 1
„Philite" I	—	—	180	1 tot 5	—	Voor hoogere temperaturen
Hoogspannings-Philite . .	—	—	—	30	—	Hoogspanningsmateriaal binnenshuis
Hoogfrequent-Philite P .	—	—	60	20	2 tot 5	20 000 per matrijs per week Niet warmtebestendig
Hoogfrequent-Philite 160 (in verschillende soorten)	tusschen 200 en 300, afhankelijk van de soort	—	180	30	55	Hoogfrequent materiaal voor algemeen gebruik
Vlokken-„Philite" . . .	—	10—15	—	ongeveer 1	—	Groote schokvastheid
„Transphilite"	—	—	—	—	—	Transparant
Zuurbestendige „Philite"	—	—	—	—	—	O.a. bestand tegen sterk zoutzuur, 30% zwavelzuur en fluoorwaterstofzuur

*) Ter wille van de overzichtelijkheid is in deze tabel voor elk materiaal slechts een waarde ingevuld voor die eigenschappen, welke in aanzienlijke mate verschillen van de eigenschappen van „Philite" S. Waar geen waarde is ingevuld kan men dus uitgaan van de gedachte, dat de betrokken eigenschappen ongeveer met die van „Philite" S overeenkomen. Op aanvrage worden gaarne de juiste waarden verstrekt.

men met porselein kan bewerkstelligen. Toch is het mogelijk om een bestendigheid bij langdurige verhitting op 180°C te bereiken, zooals in tabel 2 voor het *Philite I* is aangegeven. Het is gebleken, dat dit voor zeer vele technische toepassingen ruim voldoende is.

Aan de zeer veelvuldig voorkomende vraag naar een materiaal met een zeer groote electrische doorslagvastheid is tegemoet gekomen door het ontwikkelen van het *Hoogspannings-Philite*. Hiermede wordt een doorslagspanning tot 30 kV per mm bereikt, een waarde, welke met die van porselein overeenkomt. Wel moet de toepassing van dit materiaal tot binnenshuis beperkt blijven, doch dan biedt het, voornamelijk door zijn reeds besproken mechanische sterkte en gunstige maat-toleranties, mede in verband met de mogelijkheid om er metaaldeelen in te persen, zoovele voordeelen boven porselein, dat het Hoogspannings-Philite een uitgebreide toepassing heeft gevonden.

De steeds voortschrijdende vraag naar geringe diëlectrische verliezen heeft haar weerklank gevonden in een tweetal soorten „Philite".

Het *Hoogfrequent-Philite P* spant in dit opzicht met een $\mathrm{tg}\,\delta$ van 2 tot 5.10^{-4} zeker de kroon. Met dit materiaal bereikt men dus waarden, welke practisch gelijk zijn aan die voor de best bekend staande (echter niet vormbare) materialen op dit gebied, zooals mica en kwarts. Weliswaar staat als nadeel hier tegenover, dat het materiaal slechts een geringe temperatuurbestendigheid van ongeveer 60° C bezit. Om dit bezwaar te ondervangen is het *Hoogfrequent-Philite 160* ontwikkeld, dat met verschillende waarden voor de trekvastheid kan worden geleverd en waarbij, evenals bij het Philite I, een temperatuurbestendigheid van 180° C is bereikt. Wel is dit met toename der verliezen gepaard gegaan, doch de waarde van $\mathrm{tg}\,\delta = 55.10^{-4}$ is nog op een dergelijk laag niveau vergeleken met Philite S, waar $\mathrm{tg}\,\delta = 500.10^{-4}$ bedraagt, dat ook het Philite 160 zich in een zeer groote belangstelling mag verheugen.

Vanzelfsprekend is de vraag naar een groote mechanische sterkte nog steeds van belang, temeer omdat „Philite" in de laatste jaren ver buiten zijn oorspronkelijk gebied van isolatiemateriaal toepassing heeft gevonden, waarbij geheel andere eigenschappen dan een goede isolatie worden verlangd. In de schokweerstand van 10 tot 15 kgcm/cm² van het *Vlokken-Philite* vindt men een waarde, welke die van verschillende houtsoorten dicht nabij komt, en werkstukken hieruit vervaardigd voldoen dan ook aan zeer hooge mechanische eischen. Wel gaat dit eenigszins ten koste van de isolatie-eigenschappen, maar het netto-resultaat is toch, dat men hier over een isolatiemateriaal beschikt, dat uitstekend tegen ruwe mechanische behandeling bestand is.

„*Transphilite*" is een materiaal, dat in verschillende doorschijnende kleuren voor bepaalde verlichtingsdoeleinden wordt gebruikt.

Als bijzonder materiaal willen wij verder nog noemen het *zuurbestendige Philite*, dat speciaal voor het gebruik in chemische bedrijven werd

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

ontwikkeld en dat tegen verschillende sterke zuren goed bestand is. Interessant is daarbij, dat het, in tegenstelling tot glas, door fluoorwaterstofzuur niet wordt aangetast, door welke eigenschap dit materiaal dikwijls boven glas wordt verkozen.

„Philite" plaatmateriaal

Tot nu toe werd het „Philite"-plaatmateriaal stilzwijgend voorbijgegaan, omdat dit feitelijk niet direct in het kader van het tot nu toe behandelde past. Het kan nl. niet in profielvorm worden geperst, doch wordt bij de fabricage verkregen in de vorm van vlakke platen, welke zich gemakkelijk met een zaag laten bewerken. Er bestaan verschillende soorten Philite plaatmateriaal, die alle door zeer gunstige mechanische eigenschappen uitmunten en in dit opzicht ongeveer met hout zijn te vergelijken.

Het „Philitax", waarvan de hoofdeigenschappen in tabel 1 reeds werden genoemd, kan men electrisch als het beste plaatmateriaal betitelen. Het laat zich bij geringe dikten (bijv. 1,5 mm) gemakkelijk koud ponsen; bij verwarming kan deze mogelijkheid tot 7 mm dikte worden opgevoerd, zoodat op deze wijze een eenvoudige massafabricage, afgebeeld in *Fig. 6*, uitvoerbaar is, in de geest als men deze voor ponsbare metaalplaten, zooals blik e.d., kent. Het „Philitax" vindt niet alleen een groote toepassing bij de constructie van schakelborden, maar ook in het inwendige van talrijke electrische apparaten, doordat het, als gevolg van zijn eenvoudige fabricage, een lage prijs paart aan zijn mechanische en electrische verdiensten zonder dat hierbij kostbare matrijzen in het spel komen.

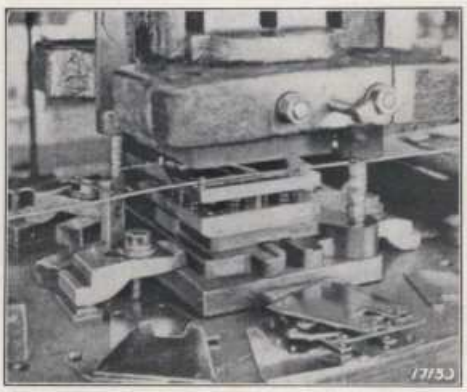

Fig. 6. Het ponsen van werkstukken uit „Philitax" plaatmateriaal.

In het „Philitext" is aan de wensch naar een buitengewoon groote schokbestendigheid tegemoet gekomen; men vindt dit in een schokweerstand van 50 kgcm/cm² belichaamd. Dit materiaal voldoet in electrisch opzicht niet geheel aan de hooge eischen van het „Philitax", maar het heeft een zekere vermaardheid verworven, doordat het zich leent voor de fabricage van lagers, welke met water gesmeerd kunnen worden, en geruischlooze tandwielen, waarvan er eenige in *Fig. 7* zijn afgebeeld. Vooral in deze richtingen liggen er voor dit materiaal nog uitgebreide toepassingsmogelijkheden open, hetgeen door het navolgende moge worden toegelicht. De wrijvingscoëfficiënt bij lagermateriaal op kunstharsbasis is ongeveer 0,1 en komt overeen met hetgeen men voor goede lagermetalen vindt. Daarnaast biedt het echter als voordeel bestendig te zijn tegen alkaliën en zuren, met water gesmeerd te kunnen worden, en een lange levensduur te bezitten.

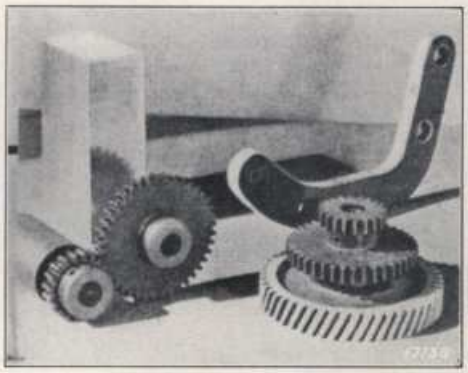

Fig. 7. Geruischlooze tandwielen uit „Philitext".

Uit deze opsommingen moge blijken, in hoevele opzichten reeds aan de uiteenloopende wenschen van de verbruikers kan worden voldaan. De techniek staat echter niet stil en wij twijfelen dan ook niet, of binnen enkele jaren zullen zich aan deze lijst van speciale soorten „Philite" nog nieuwe hebben toegevoegd, die weer aan andere verlangens tegemoetkomen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

VERBETERINGEN AAN RADIO-ONTVANGTOESTELLEN

door C. J. VAN LOON.

Samenvatting. Twee belangrijke verbeteringen aan radio-ontvangtoestellen: voelbare afstemming en laagfrequente tegenkoppeling worden in bijzonderheden toegelicht.

De voelbare afstemming kenmerkt zich daardoor, dat men in het plotseling zwaarder draaien van de afstemknop een aanwijzing heeft, dat men juist is afgestemd; de schakeling is namelijk zoo ingericht, dat een „remmagneet", die de afstemas remt, bekrachtigd wordt, wanneer men de juiste afstemming zeer dicht genaderd is. Bovendien heeft men hiermede op eenvoudige wijze een inrichting verbonden, die langs mechanische weg het toestel geheel doet zwijgen, zoolang men niet op een zender is afgestemd.

Met laagfrequente tegenkoppeling is bereikt, dat de vervorming, die in het laagfrequente deel van het ontvangtoestel optreedt, tot een zeer klein percentage is teruggebracht en tevens de frequentiekarakteristiek gunstig is beïnvloed.

Inleiding

De meest op de voorgrond tredende eigenschappen van een radio-ontvangtoestel zijn ongetwijfeld de kwaliteit van de geluidsweergave en de selectiviteit en gevoeligheid van het toestel. Bij de ontwikkeling der ontvangers zijn in verschillende opzichten verbeteringen in de kwaliteit tot stand gebracht. De acoustische weergave van de luidspreker, die in het begin van de radio-ontwikkeling tot een tamelijk smal gebied van geluidsfrequenties was beperkt, is geleidelijk zooveel verbeterd, dat een breed gebied van bijv. 40 tot 10 000 per/sec. behoorlijk gelijkmatig kan worden weergegeven. Ook de bouw der verschillende in een toestel aanwezige versterkertrappen, en niet minder de prestaties van versterker- en eindlampen, weet men thans veel beter te beheerschen dan vroeger, hetgeen natuurlijk de kwaliteit der weergave sterk ten goede is gekomen.

Regelbare bandbreedte

Niet minder groot is de vooruitgang geweest op het gebied der selectiviteit; bij de thans bestaande toestanden met de vele sterke zendstations en de geringe frequentieafstand der zenders onderling, was dit trouwens ook absoluut noodzakelijk. Bij een dergelijk hoog opgevoerde selectiviteit komt men echter rechtstreeks in botsing met de kwaliteit der weergave. Een smalle resonantiekromme, zooals in *fig 1a* afgebeeld, is oorzaak, dat de „zijbanden" van het ontvangen signaal zwakker doorkomen, zoodat de hoogere modulatiefrequenties veel te geringe intensiteit verkrijgen en het geluid dof klinkt. Om hieraan tegemoet te komen, kan men de resonantiekromme een minder spitse gedaante geven (zie fig. 1b), om zoodoende een nog zoo groot mogelijk gedeelte van de zijbanden onverzwakt door te laten. In deze richting verder gaande is men gekomen tot de zg. „regelbare bandbreedte", die in het bijzonder in superheterodyne ontvangers

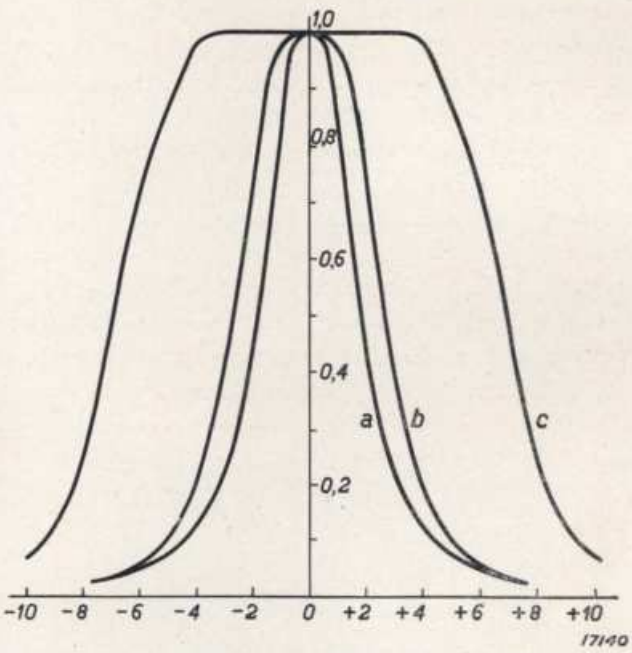

Fig. 1. Resonantiekrommen: Intensiteit als functie van de verstemming in kiloperioden per sec.
a) Smalle resonantiekromme; de hoogere modulatiefrequenties worden met veel te geringe intensiteit weergegeven.
b) Resonantiekromme met minder spitse gedaante; een grooter deel van de zijbanden wordt onverzwakt doorgelaten, de selectiviteit is geringer.
c) Voorbeeld van de resonantiekromme, zooals met regelbare bandbreedte bij de „breede" instelling kan worden verkregen.

steeds meer toegepast wordt. Door instelling van de koppeling tusschen de kringen in het middelfrequente gedeelte kan men nl. naar believen de resonantiekromme smal maken (zooals in fig. 1a), of breeder maken, zoodat bijv. een frequentiegebied als in fig 1c wordt doorgelaten. Met een dergelijk

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

breed doorlatingsgebied werkt men dan, wanneer een groote selectiviteit niet vereischt is, omdat het station, dat men wil ontvangen, sterk is, of omdat geen storende buurzenders aanwezig zijn; de hooge geluidsfrequenties worden nu niet verzwakt, zoodat de kwaliteit der weergave aan hooge eischen voldoet. Zijn de omstandigheden zóó, dat hooge selectiviteit vereischt wordt, dan wordt ingesteld op een smallere band, waarbij verlies van hooge tonen onvermijdelijk is.

Automatische sterkteregeling

Een verbetering, die sinds enkele jaren in vele radio-apparaten is aangebracht, is de zoogenaamde automatische sterkteregeling; automatisch wordt hierbij de versterking van het apparaat verkleind, wanneer het signaal, dat de detector bereikt sterker wordt. Het groote verschil in sterkte, dat tusschen de binnenkomende signalen bestaat (een matig zwak signaal geeft bijv. in de antenne een E.M.K. van 0,1 millivolt, terwijl deze voor een sterke plaatselijke zender bijv. 500 millivolt bedraagt), wordt in het apparaat door de automatische sterkteregeling belangrijk verkleind.

Algemeen bekend zijn de groote voordeelen, die deze automatische regeling medebrengt, zoowel wanneer het ontvangen station in sterkte variëert (fading) als bij het na elkander afstemmen van stations van zeer verschillende sterkte. Deze verbetering heeft echter ook enkele bezwaren meegebracht; het is nu namelijk moeilijker geworden om te beoordeelen of men een toestel juist heeft afgestemd. Bij de ontvangapparaten zonder automatische sterkteregeling levert het juiste afstemmen geen bezwaar op, men stelt eenvoudig op het gehoor af op die plaats, waar het geluid het sterkst is.

Bij toestellen, die voorzien zijn van automatische sterkteregeling, en waarbij bovendien de resonantiekromme een vlak verloopende top vertoont, is het veel bezwaarlijker om op het gehoor de juiste afstemming te vinden; wanneer men, uitgaande van de juiste afstemming, het toestel gaat verstemmen, valt aanvankelijk geen duidelijk afnemen van de geluidssterkte te constateeren, daar de automatische sterkteregeling een afnemen juist tegenwerkt.

Het gevolg is dan ook, dat men als criterium voor juiste afstemming moet gaan nemen: een maximum aan lage tonen of een minimum in de vervorming van het geluid; deze wijze van afstemmen vereischt echter vrij veel vaardigheid, zoodat dan ook in de practijk een dergelijk radiotoestel zeer dikwijls naast de juiste afstemming wordt gebruikt en de kwaliteit van het geluid door het ontbreken van lage tonen en het optreden van vervorming nadeelig wordt beïnvloed.

Voelbare afstemming

Het is geen wonder dat om deze bezwaren te ontgaan, middelen zijn uitgedacht om een eenvoudige indicatie voor juiste afstemming te geven. Als zoodanig kunnen genoemd worden de zg. „zichtbare" afstemming, waar bij juiste afstemming een indicatie-instrumentje een maximale of minimale uitslag vertoont. Ook kunnen schakelingen worden toegepast, waarmede bereikt wordt dat toch, evenals in vroegere apparaten, bij de juiste afstemming een vrij scherp maximum in de geluidsterkte wordt waargenomen, zoodat weer „hoorbare" afstemming is bereikt. In dit laboratorium is nu een geheel nieuwe methode van afstemmen uitgewerkt, en wel een „voelbare" afstemming, welke het nauwkeurig afstemmen buitengewoon gemakkelijk maakt. Deze voelbare afstemming kenmerkt zich daardoor, dat men in het plotseling zwaarder draaien van de afstemknop een aanwijzing heeft, dat men juist is afgestemd; deze remming wordt veroorzaakt door toepassing van een schakeling, waardoor in de onmiddellijke nabijheid van juiste afstemming een plotselinge stroomverandering optreedt, die gebruikt wordt om door middel van een magneet de afstem-as te remmen. Op eenvoudige wijze kan verder hiermee een inrichting worden verbonden, die langs mechanische weg het toestel geheel doet zwijgen, zoolang men niet op een zender is afgestemd (zg. „stille" afstemming); nadert men de juiste afstemming, dan wordt nu niet alleen de remmagneet bekrachtigd, maar tevens een contact gesloten, waardoor de geluidsweergave weer mogelijk wordt. Zoodoende is een combinatie van „voelbare" en van „stille" afstemming verkregen.

Op welke wijze deze schakeling werkt, zal aan de hand van enkele schakelschema's worden verduidelijkt. We onderstellen hierbij dat het ontvangapparaat, waarin de voelbare afstemming zal worden toegepast, een superheterodyne ontvanger is. Het schema daarvan is in *fig. 2* in principe aangegeven.

Heeft men de ontvanger juist afgestemd, dan wil dat zeggen dat het H.F. gedeelte afgestemd is op de frequentie van het te ontvangen signaal, en tevens de oscillator op een zoodanige frequentie, dat de in de menglamp gevormde verschilfrequentie juist overeenkomt met de middelfrequentie f_o, waarop het M.F. gedeelte is afgestemd. Verwijdert men zich door een kleine draaiïng van de afstemknop een weinig van de juiste afstemming, dan wordt daar-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

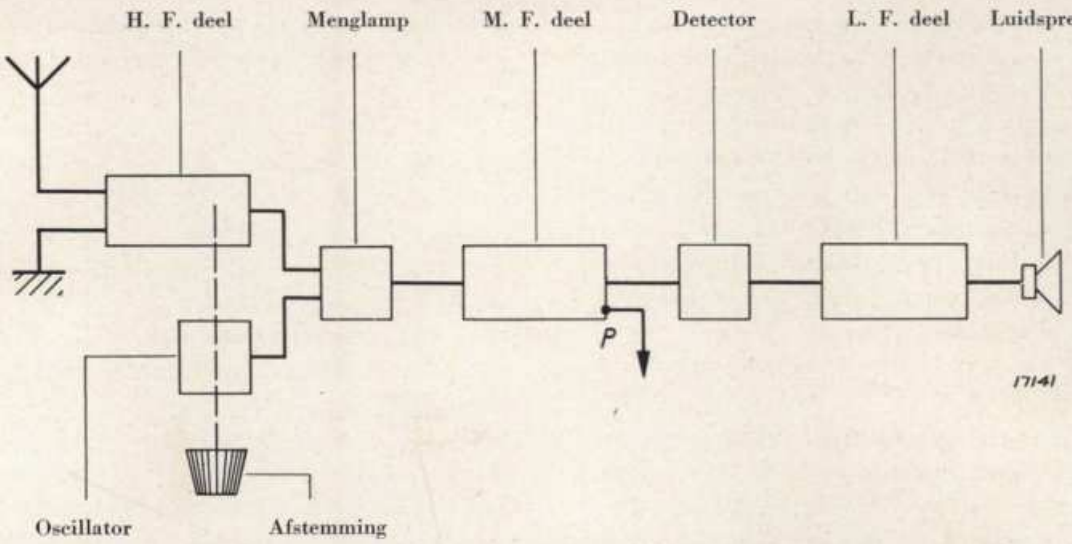

Fig. 2. Schema van een superheterodyne ontvanger. Van punt P wordt het voor de voelbare afstemming benoodigde middelfrequente signaal afgeleid.

door de oscillator verstemd. De in de menglamp gevormde verschilfrequentie is dus nu veranderd en stemt niet meer precies overeen met de middelfrequentie. Ook de kringen in het hoogfrequente gedeelte zijn verstemd, waardoor de amplitude van het signaal, dat aan de menglamp wordt toegevoerd, zich ook eenigszins zal wijzigen. Bij niet al te groote verstemming kunnen wij echter — mede dank zij de aanwezigheid van een automatische sterkteregeling — in eerste benadering wel zeggen, dat aan het einde van de M.F. versterker, dus bij P, een signaal aanwezig is, dat practisch niet in amplitude variëert, doch waarvan wel de frequentie verandert; bij de juiste afstemming is de frequentie juist gelijk aan de middelfrequentie f_o.

In P sluiten we nu via een kleine condensator C_1 de in *fig. 3* geteekende schakeling aan. Deze bestaat uit een kring (LCr), die afgestemd is op de middelfrequentie f_o. De op deze kring aanwezige spanning kan door een diode D gelijk worden gericht; op de weerstand R, die op de bekende wijze door een condensator C_2 is overbrugd, ontstaat dan een gelijkspanning. In serie met R is nog een gelijkspanningsbron V_B opgenomen; de polariteit hiervan is zoodanig, dat, bij afwezigheid van een wisselspanning op de kring, de anode van de diode negatief is t.o.v. de kathode. Het is duidelijk, dat hierdoor alleen dan gelijkrichting van de kringspanning kan optreden, wanneer de amplitude van deze wisselspanning grooter is dan de „drempelspanning" V_B.

Bij juiste afstemming van het toestel is in P, zooals we zagen, een spanning aanwezig met de frequentie f_o. De kringspanning, die als gevolg daarvan optreedt, heeft de amplitude V_o. Bij een kleine verstemming krijgen we in P een spanning met vrijwel ongewijzigde amplitude, doch met een frequentie $f_o + \Delta f$ resp. $f_o - \Delta f$. De spanning op de

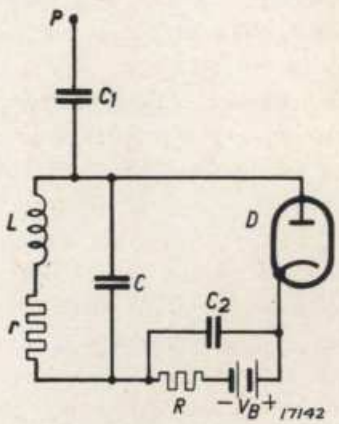

Fig. 3. Principe-schakeling voor de voelbare afstemming. Bij afstemming van het radiotoestel treedt in P (zie ook fig. 2) een spanning op, die via C_1 toegevoerd wordt aan de op de middelfrequentie afgestemde trillingskring LCr; de spanning op deze kring heeft in de juiste afstemming een zoodanige waarde, dat de diode D, waarmede de drempelspanning V_B in serie is geschakeld, gelijkricht en op weerstand R een gelijkspanning ontstaat, die voor het in werking zetten van een reminrichting dient. Verwijderen wij ons van de juiste afstemming, dan wordt de spanning op de kring LCr kleiner, zoodat vanaf een zekere verstemming, dank zij de aanwezigheid van V_B, geen gelijkrichting meer optreedt en de rem niet meer werkt.

kring zal nu kleiner zijn en wel is de amplitude nu gelijk aan

$$V_o \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{4\pi\Delta f}{r/L}\right)^2}}.$$

Is $V_o > V_B$ dan zal dus bij afstemming gelijkrichting optreden, m.a.w. aan R zal een gelijkspanning ontstaan. Gaat men verstemmen dan zal

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

de gelijkrichting niet meer kunnen optreden, zoodra Δf een waarde Δf_{lim} bereikt, die bepaald is door de vergelijking

$$V_o \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{4\pi \Delta f_{lim}}{r/L}\right)^2}} = V_B \qquad (1).$$

Men ziet hieruit, dat men het met de waarde van V_B in de hand heeft te bepalen in welk frequentiegebied rondom de resonantiefrequentie f_o gelijkrichting zal plaats vinden en een gelijkspanning aan weerstand R zal ontstaan. Met deze gelijkspanning aan R kan dan verder bijv. een versterkerlamp zoodanig worden gestuurd, dat een in de anodekring van die lamp opgenomen magneet de afstem-as remt. Op deze wijze heeft men dus voor een te ontvangen station van een bepaalde sterkte de voelbare afstemming bereikt. Kiest men echter een station met een andere bijv. een veel grootere sterkte, dan zal de in P optredende spanning, niettegenstaande de aanwezigheid van automatische sterkteregeling, toch nog vrij wat, bijv. eenige malen, grooter kunnen zijn dan in het eerst beschouwde geval.

Als gevolg hiervan zal de waarde van Δf_{lim}, die de breedte bepaalt van het frequentiegebied, waarin de voelbare afstemming werkt, ook grooter zijn. Nemen we als voorbeeld een kring, waarvoor r/L de waarde 6280 sec^{-1} heeft, terwijl $V_B/V_o = 0{,}86$ is, dan volgt uit (1) voor Δf_{lim} een waarde van 300 per/sec. Is voor een sterker station V_o bijv. 2 keer grooter, dan heeft V_B/V_o de waarde 0,43 en voor Δf_{lim} wordt nu een waarde van 1050 per/sec gevonden. Het gebied, waarbinnen de voelbare afstemming in werking komt, is dus voor stations van verschillende sterkte vrij sterk uiteenloopend, zoodat bij zeer sterke stations reeds op ontoelaatbaar groote afstand van de juiste afstemming de afstem-as wordt geremd.

Op de volgende wijze kan men dit bezwaar ontgaan. Uit (1) volgt, dat bij een gegeven waarde van r/L, de waarde van Δf_{lim} ook een zeer bepaalde is, wanneer de verhouding van V_B en V_o steeds dezelfde is. Dit zou het geval zijn, wanneer in de schakeling van fig. 3 de drempelspanning V_B niet een vaste waarde heeft, maar evenredig met V_o toeneemt. Dit is bereikt in de schakeling van *fig. 4*, waarin twee kringen *I* en *II* aanwezig zijn, beide afgestemd op de middelfrequentie, en twee gelijkrichtende diodes. C_2 is een kleine condensator.

De diode D_1 richt de spanning op de kring *I* gelijk; een deel der gelijkgerichte spanning vormt nu de drempelspanning V_B voor het gelijkrichtercircuit van D_2. Met deze schakeling wordt verkregen, dat practisch onafhankelijk van de signaalsterkte in P, de diode D_2 steeds bij dezelfde Δf_{lim}

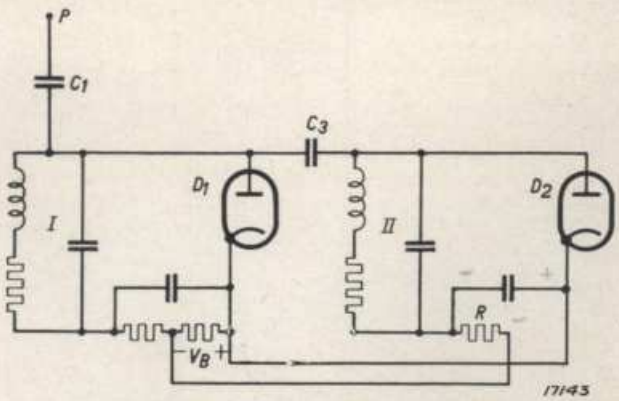

Fig. 4. Verbetering van de schakeling van fig. 3. De spanning van kring *I* wordt gelijkgericht door diode D_1. Een deel van de verkregen gelijkspanning dient als drempelspanning V_B voor het tweede gelijkrichtercircuit (kring *II*, diode D_2, weerstand R). Met deze schakeling wordt verkregen, dat practisch onafhankelijk van de signaalsterkte in P, de diode D_2 steeds in hetzelfde frequentiegebied rondom de juiste afstemming zal gelijkrichten.

begint gelijk te richten, en over de weerstand R dus een gelijkspanning ontstaat, die via een versterkerlamp de remmagneet kan bekrachtigen.

In de practische uitvoering (*fig. 5*) wordt de kring *I* niet rechtstreeks doch onder tusschenschakeling van een versterkerlamp L op het middelfrequente gedeelte bij P aangesloten. Deze lamp dient dan tevens om door de gelijkgerichte spanning op R te worden geregeld; in het gebied van juiste afstemming gekomen, maakt de spanning op R het rooster van de lamp sterker negatief, zoodat het relais, dat in het anode-circuit is opgenomen, afvalt en daarbij een contact sluit, waardoor de remmagneet wordt bekrachtigd en de voelbare afstemming in werking treedt. Laat men tegelijkertijd door het

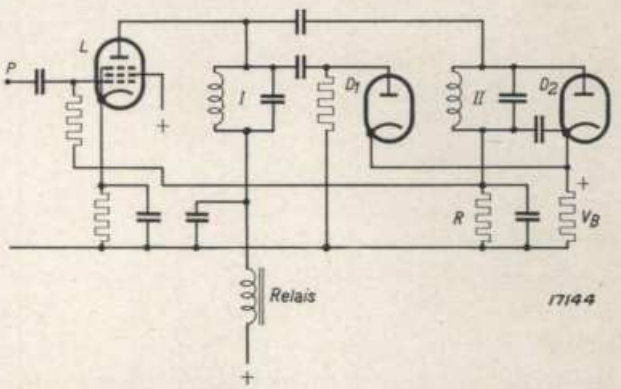

Fig. 5. Practische uitvoering van een schakeling voor voelbare afstemming. Kring *I* (zie eveneens fig. 4) is niet rechtstreeks, doch onder tusschenschakeling van een versterkerlamp L aan het middelfrequente gedeelte bij P aangesloten. De gelijkspanning, die op R bij juiste afstemming ontstaat, wordt naar het rooster van L gevoerd en regelt de anodestroom van deze lamp, als gevolg waarvan het relais afvalt, en de rem in werking treedt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

relais nog een tweede contact sluiten, waarmede bijv. de luidspreker wordt ingeschakeld, dan is op zeer eenvoudige wijze tevens „stille afstemming" verkregen.

In *fig. 6* vindt men een afbeelding van het remgedeelte; op de afstem-as is een ijzeren schijf bevestigd, die tegenover de remmagneet is opgesteld.

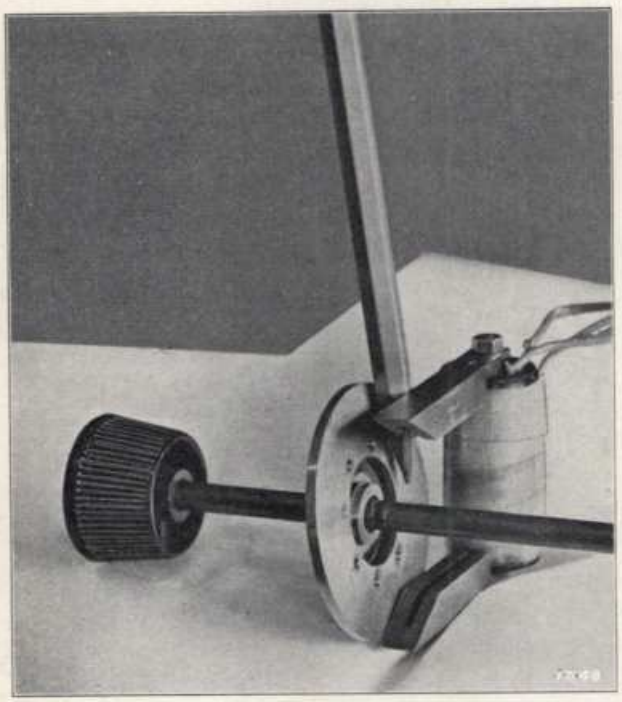

Fig. 6. Rem. Op de afstem-as is een ijzeren schijf bevestigd, die tegenover de remmagneet is opgesteld. De schijf is met een bijzondere veer op de as bevestigd, waardoor de schijf in de asrichting kan bewegen, zoodat zij tegen de remmagneet wordt getrokken, wanneer deze laatste wordt bekrachtigd.

De schijf is veerend op de as bevestigd. Zij kan t.o.v. de as niet gedraaid worden, maar wel is een beweging van de schijf in de asrichting mogelijk, zoodat hij tegen de remmagneet wordt getrokken, wanneer deze laatste wordt bekrachtigd.

Tegenkoppeling

Hierboven werd reeds even aangeroerd, dat ook de ontwikkeling der radiolampen, in het bijzonder der eindlampen, de kwaliteit der weergave sterk vooruit heeft doen gaan. De maatregel om door gebruik te maken van een eindlamp van grooter vermogen, een weergave met geringere vervorming te verkrijgen, ligt voor de hand. Daarnaast is in dit laboratorium een schakeling uitgewerkt, en in verschillende typen radiotoestellen toegepast, de zoogenaamde laagfrequente tegenkoppeling, waarmede de vervorming, die in het laagfrequente gedeelte van de ontvanger optreedt, tot een zeer klein percentage is teruggebracht, en tevens de frequentie-karakteristiek gunstig wordt beïnvloed.

Wanneer op het rooster van een eindlamp een wisselspanning V_g wordt aangelegd, treedt op de in de anodekring aanwezige belasting een versterkte wisselspanning V_a op. Men kan een deel $n V_a$ van deze uitgangsspanning weer naar het ingangscircuit terugvoeren. Wanneer deze teruggevoerde spanning in tegenphase met de ingangsspanning V_i wordt genomen, kan men van tegenkoppeling spreken. Als gevolg hiervan wordt de versterking verminderd, doch ook in vrijwel dezelfde mate de distorsie.

In *fig. 7* is het schema van een tegengekoppelde eindlamp aangegeven; de belasting is niet rechtstreeks in de anodekring opgenomen, doch door mid-

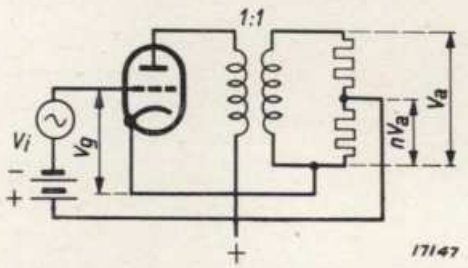

Fig. 7. Schema van een tegengekoppelde eindlamp. Een gedeelte $n \cdot V_a$ van de anodewisselspanning V_a, welke tengevolge van de roosterwisselspanning V_g ontstaat, wordt naar het rooster teruggevoerd, in tegenfase met de ingangsspanning V_i.

del van een ideale 1 : 1 transformator om onafhankelijk te zijn van de gelijkspanning der anodebatterij. Wanneer we de versterking van de lamp m noemen, hebben we dus de betrekking $V_a = m V_g$. Daar verder $V_g = V_i - n V_a$, volgt hieruit $V_a = m V_i - m n V_a$, of

$$V_a = \frac{m}{1 + m n} V_i ,$$

zoodat de versterking door de tegenkoppeling $(1 + m n)$ maal kleiner is geworden. Wordt n zoo groot genomen dat $m n \gg 1$, dan nadert V_a tot de waarde V_i/n. De versterking wordt dus bij toenemende tegenkoppeling steeds meer onafhankelijk van m, dus van de eigenschappen van de lamp, zoodat ook de vervormingen tengevolge van de niet-lineariteit der lampkarakteristieken dan steeds geringer zullen worden.

Teneinde dit nauwkeuriger na te gaan schrijven we het niet-lineaire verband tusschen V_a en V_g als volgt op:

$$V_a = \alpha V_g + \beta V_g^2 + \gamma V_g^3 + \ldots\ldots \quad (2).$$

De wisselspanning zij $V_g = V_{gm} \cos \omega t$. Dit ingevuld in (2) geeft:

$$V_a = \alpha V_{gm} \cos \omega t + \beta V_{gm}^2 \cos^2 \omega t + \gamma V_{gm}^3 \cos^3 \omega t ,$$

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Digitized by www.freeservicemanuals.info

waarvoor bij benadering [1]) kan worden geschreven:

$$V_a = \tfrac{1}{2}\beta V_{gm}^2 + \alpha V_{gm}\cos\omega t + \tfrac{1}{2}\beta V_{gm}^2\cos 2\omega t + \tfrac{1}{4}\gamma V_{gm}^3\cos 3\omega t.$$

Er treden dus termen op met 2ω en 3ω, d.w.z. vervorming door 2e resp. 3e harmonische.

Duiden we de amplituden der 1e, 2e en 3e harmonische van V_a aan door V_{a_1}, V_{a_2} en V_{a_3}, dan zien we dat

$$V_{a_1} = \alpha V_{gm} \quad V_{a_2} = \tfrac{1}{2}\beta V_{gm}^2 \text{ en } V_{a_3} = \tfrac{1}{4}\gamma V_{gm}^3$$

Voor het geval van tegenkoppeling hebben we tusschen V_i en V_g de betrekking

$$V_g = V_i - nV_a \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3).$$

De vergelijkingen (2) en (3) geven samen het verband tusschen V_a en V_i. We willen V_a ook schrijven als een machtreeks in V_i. Daartoe gaan we eerst vgl. (2) „omkeeren"; er komt dan:

$$V_g = \frac{1}{\alpha}V_a - \frac{\beta}{\alpha^3}V_a^2 + \frac{2\beta^2 - \alpha\gamma}{\alpha^5}V_a^3 + \ldots\ldots$$

In verband met vgl. (3) volgt hieruit:

$$V_i = \left(\frac{1}{\alpha} + n\right)V_a - \frac{\beta}{\alpha^3}V_a^2 + \frac{2\beta^2 - \alpha\gamma}{\alpha^5}V_a^3 + \ldots\ldots$$

Deze vergelijking wordt na „omkeeren":

$$V_a = \frac{\alpha}{1+\alpha n}V_i + \frac{\beta}{(1+\alpha n)^3}V_i^2 + \frac{\gamma(1+\alpha n) - 2\beta^2 n}{(1+\alpha n)^5}V_i^3$$

waarvoor we met een veelal geringe verwaarloozing mogen schrijven:

$$V_a = \alpha\frac{V_i}{1+\alpha n} + \frac{\beta}{1+\alpha n}\left(\frac{V_i}{1+\alpha n}\right)^2 + \frac{\gamma}{1+\alpha n}\left(\frac{V_i}{1+\alpha n}\right)^3.$$

Hiermede hebben we nu, voor het geval van tegenkoppeling, het niet-lineaire verband tusschen V_a en V_i verkregen.

Op dezelfde wijze als boven te werk gaand, vinden we hier voor de amplitude der 1e, 2e en 3e harmonische:

$$V_{a_1} = \alpha\frac{V_{im}}{1+\alpha n},$$

$$V_{a_2} = \tfrac{1}{2}\frac{\beta}{1+\alpha n}\left(\frac{V_{im}}{1+\alpha n}\right)^2,$$

$$V_{a_3} = \tfrac{1}{4}\frac{\gamma}{1+\alpha n}\left(\frac{V_{im}}{1+\alpha n}\right)^3.$$

We zien hieruit dat, om in beide gevallen dezelfde waarde van V_{a_1} te verkrijgen, bij toepassing van tegenkoppeling $V_{im} = (1+\alpha n)\,V_{gm}$ moet genomen worden, zoodat de versterking $(1+\alpha n)$ maal kleiner is; tevens zijn V_{a_2} en V_{a_3} ook in dezelfde verhouding kleiner geworden.

Ter illustratie is in *fig. 8* voor de eindlamp AL 4 met een anodebelasting van 7000 Ω de vervorming met en zonder tegenkoppeling aangegeven als functie van de aan de anodebelasting afgegeven energie; de waarde van $1 + \alpha n$, die de mate van de tegenkoppeling aangeeft, was hierbij ongeveer = 4.

We hebben in het bovenstaande steeds een anodeweerstand van een bepaalde vaste waarde beschouwd. In werkelijkheid wordt de belasting gevormd door een luidspreker, waarvan de impedantie voor verschillende frequenties vrij veel uiteenloopende waarden bezit. In het resonantiepunt,

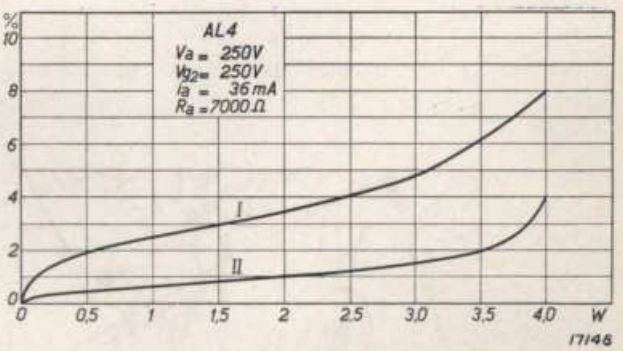

Fig. 8. Vervorming van de eindlamp AL4 bij een anodeweerstand van 7000 Ω, als functie van het in de anodeweerstand ontwikkelde vermogen, zonder tegenkoppeling (kromme *I*) en met een viervoudige tegenkoppeling (kromme *II*).

dat gewoonlijk tusschen 50 en 100 per/sec is gelegen, heeft de impedantie een maximum, daarboven is zij over een bepaald gebied vrijwel constant om voor nog hoogere frequenties weer toe te nemen. Het spreekt vanzelf dat dit verloop van de impedantie van invloed is op het verloop van de luidsprekerstroom of de luidsprekerspanning met de frequentie en derhalve op de karakteristiek der weergave. De tegenkoppeling geeft ons nu een middel in de hand om deze karakteristiek een gewenscht verloop te geven. Neemt men bijv. voor alle frequenties als tegengekoppelde spanning steeds hetzelfde gedeelte van de spanning V_a op de belasting, hetgeen dus neerkomt op een vaste waarde voor n, dan zal de spanning V_a steeds minder met de frequentie verloopen, naarmate meer wordt tegengekoppeld; tenslotte wordt $V_a = V_i/n$, dus zelfs geheel onafhankelijk van de frequentie. Heeft men te doen met een geval, waarin men voor een bepaald frequentiegebied, bijv. de hooge tonen, de weergave sterker zou willen hebben, dan kan men dit bereiken door de tegenkoppeling zoo te kiezen,

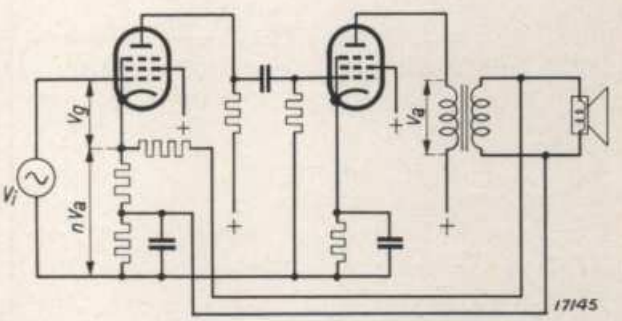

Fig. 9. Schema van een tegengekoppelde versterker, waarbij de tegengekoppelde spanning niet naar het roostercircuit van de eindlamp zelf, doch naar dat van de voorafgaande versterkerlamp is teruggevoerd.

[1]) Wij verwaarloozen $\frac{3}{4}\gamma V_{gm}^2$ tenopzichte van α.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

dat deze voor dat bepaalde gebied kleiner is dan voor de overige frequenties.

In *fig. 9* is nog een schema gegeven, waarbij de tegenkoppeling niet naar het roostercircuit van de eindlamp zelf, doch naar dat van de voorafgaande versterkerlamp is teruggevoerd. Dit heeft o.a. als voordeel, dat nu niet alleen de vervormingen, welke in de eindlamp ontstaan, worden gereduceerd, doch die van de geheele, door beide trappen gevormde, laagfrequente versterker.

ELECTRISCHE FILTERS II

Vacantieleergang, gehouden te Delft, April 1936.

door BALTH. VAN DER POL en TH. J. WEIJERS.

PRACTISCHE BEREKENING VAN FILTERS MET SINUSVORMIGE EMK.

Samenvatting. In dit artikel worden de eigenschappen van filtercellen systematisch behandeld volgens de methode van Campbell en Zobel[1]), waarbij de filters zijn vastgelegd door hun spiegelbeeldimpedanties Z_a en Z_b en de voortplantingsconstante T. Eenige eenvoudige grondvormen (T-cellen, Π-cellen en halve cellen) worden bijzonder uitvoerig onderzocht. Uit de eigenschappen der filtercellen kunnen op eenvoudige wijze de eigenschappen worden afgeleid van samengestelde filters, waarbij de filtercellen door hun spiegelbeeldimpedanties afgesloten zijn. Voor het verkrijgen van een systematisch overzicht is een beschouwing van filters bestaande uit verliesvrije reactanties (inductiviteiten en capaciteiten) van veel belang. In dit geval bestaan in het frequentiegebied scherp gescheiden doorlatings- en dempingsgebieden. In de hoofdstukken m_T-transformatie en m_π-transformatie wordt een bepaalde methode aangegeven om uit T-cellen of Π-cellen nieuwe cellen af te leiden, die dezelfde spiegelbeeldimpedanties, doorlatings- en dempingsgebieden hebben, maar een andere voortplantingsconstante, die bepaald wordt door de verg. (25) en (31). Past men deze transformaties toe op de onsymmetrische halve cellen, dan blijft slechts één van de beide spiegelbeeldimpedanties onveranderd, terwijl de andere zich volgens verg. (24) en (30) transformeert.

Grootheden, die het filter bepalen

Zooals in het eerste artikel[2]) werd uiteengezet, worden de eigenschappen van een filter door drie grootheden bepaald. Voor deze drie grootheden kiezen wij in het volgende[1]) de primaire spiegelbeeldimpedantie Z_a, de secundaire spiegelbeeldimpedantie Z_b en de voortplantingsconstante T. Om deze grootheden voor een gegeven filter te berekenen gaan we uit van een ander stel variabelen, waarvan de waarden eenvoudiger te bepalen zijn, nl. de primaire en de secundaire nullast- en kortsluit-impedanties Z_{ao}, Z_{ak}, Z_{bo} en Z_{bk}, die als impedanties van gegeven netten gemakkelijk te berekenen zijn. Hebben we deze laatste grootheden gevonden, dan berekenen we hieruit Z_a, Z_b en T met behulp van de formules uit de tabel van blz. 240 en 241:

$$Z_a = \sqrt{Z_{ao}\, Z_{ak}}\,; \quad \ldots\ldots (1)$$

$$Z_b = \sqrt{Z_{bo}\, Z_{bk}}\,; \quad \ldots\ldots (2)$$

$$\tanh T = \sqrt{\frac{Z_k}{Z_o}}\,. \quad \ldots\ldots (3)$$

Daar $Z_{ak}/Z_{ao} = Z_{bk}/Z_{bo}$, is in (3) deze grootheid kortheidshalve voorgesteld door Z_k/Z_o. We herleiden (3) tot:

$$e^{-2T} = \frac{1 - \sqrt{\frac{Z_k}{Z_o}}}{1 + \sqrt{\frac{Z_k}{Z_o}}} \quad \ldots\ldots (4)$$

In het algemeen zijn Z_k en Z_o, dus ook T, complex. Stellen we:

$$T = \alpha + j\beta\,,$$

dan geldt:

$$\frac{I_2}{I_1} = \sqrt{\frac{Z_a}{Z_b}} \cdot e^{-T} = \sqrt{\frac{Z_a}{Z_b}} \cdot e^{-\alpha - j\beta}\,, \quad \ldots (5)$$

en het blijkt, dat α de demping, β het phaseverschil tusschen I_1 en I_2 bepaalt.

---

[1]) Campbell, Bell Syst. techn. J. Vol. 1, No. 2, 1922; Zobel, Vol. 2, No. 1, 1923.

[2]) Vgl. Philips techn. T. 1, 239, 1936. Zie voor het volgende speciaal de groote tabel: 3e rij en 3e kolom.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

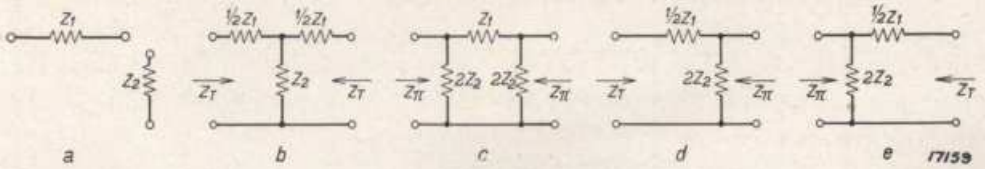

Fig. 1. Filtercellen, gevormd uit de „volledige takken" Z_1 en Z_2.
a volledige takken,
b symmetrische *T*-cel,
c symmetrische *Π*-cel,
d halve cel,
e halve cel.

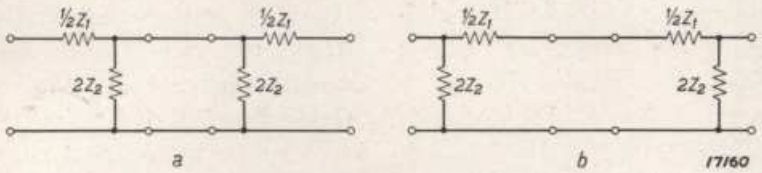

Fig. 2. *a* *T*-cel, gevormd uit twee halve cellen,
b *Π*-cel, gevormd uit twee halve cellen.

Filtercellen

Om een filter te construeeren, dat aan gegeven eischen voldoet, stellen we het in den regel samen uit een zeker aantal filtercellen. We willen ons hier beperken tot de symmetrische *T*-cel, de symmetrische *Π*-cel en de „halve" cel. We hebben reeds gezien, dat voor een symmetrisch filter slechts twee impedanties noodig en voldoende zijn om de eigenschappen van het filter te bepalen. Om een filtercel te construeeren gaan we daarom uit van twee impedanties Z_1 en Z_2 (*fig. 1a*), die we de „volledige takken" noemen en vormen daarvan de genoemde cellen op de wijze, zooals in fig. *1 b, c, d* en *e* is aangegeven. Door twee halve cellen op de juiste wijze in serie te schakelen kan men een symmetrische *T*-cel of een symmetrische *Π*-cel vormen (fig. 2). Een halve cel kan men dus opvatten als de helft van een *T*-cel, en ook als de helft van een *Π*-cel.

Samengestelde filters

Een samengesteld filter ontstaat door het in serie schakelen van eenige filtercellen. De spiegelbeeldimpedanties en de voortplantingsconstante hiervan zijn te bepalen uit de overeenkomstige grootheden der afzonderlijke cellen.

Zooals vroeger reeds gezegd, is de primaire spiegelbeeldimpedantie Z_a de impedantie, die we tusschen de primaire klemmen *1* en *2* meten, als de secundaire klemmen *3* en *4* met de secundaire spiegelbeeldimpedantie Z_b gesloten zijn (*fig. 3*).

Hoe de impedantie Z_b physisch gerealiseerd is, is natuurlijk onverschillig. Men kan er dus ook een filter voor nemen, dat een spiegelbeeldimpedantie Z_b heeft en aan de andere zijde met de daarbij be-

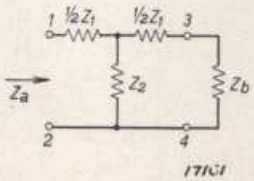

Fig. 3. Filtercel, secundair afgesloten met de secundaire spiegelbeeldimpedantie.

hoorende spiegelbeeldimpedantie Z_c gesloten is (*fig. 4*). In de figuur is voor dit tweede filter een filter gelijk aan het eerste genomen, zoodat $Z_a = Z_b = Z_c$, hetgeen natuurlijk niet noodzakelijk is; noodig is slechts, dat de aan elkaar sluitende

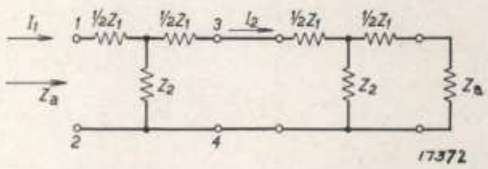

Fig. 4. Filtercel, secundair met een gesloten filtercel gesloten.

spiegelbeeldimpedanties gelijk zijn en het tweede filter aan het einde met de daarbij behoorende spiegelbeeldimpedantie gesloten is. Door dit procédé herhaalde malen toe te passen kan men filterketens samenstellen uit een willekeurig aantal cellen, waarbij de primaire spiegelbeeldimpedantie Z_a van het geheele filter gelijk blijft aan de primaire spiegelbeeldimpedantie van de eerste cel. Het is duidelijk, dat de secundaire spiegelbeeldimpedantie

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

van het geheele filter gelijk is aan de secundaire spiegelbeeldimpedantie van de laatste cel.

Zijn aan de verbindingsplaatsen der cellen de aan elkaar sluitende spiegelbeeldimpedanties niet gelijk, dan zijn de spiegelbeeldimpedanties van het samengesteld filter niet gelijk aan die der eindcellen, doch in het algemeen onregelmatig verloopende functies van de frequentie, met als ongewenscht gevolg, dat I_2/I_1 ook onregelmatig verloopt als functie van de frequentie. Daarom zal men in de practijk bij de constructie van filters als regel zorgdragen, dat op de verbindingsplaatsen der cellen gelijke spiegelbeeldimpedanties aan elkaar sluiten. Bij de hier volgende beschouwingen zal dan ook steeds ondersteld worden, dat aan deze voorwaarde voldaan is.

De voortplantingsconstante T van het samengestelde filter is te bepalen uit de voortplantingsconstanten T_1, T_2, T_3 ..... T_n der afzonderlijke cellen. We hebben vroeger gezien, dat $I_2/I_1 = \sqrt{Z_a/Z_b} \cdot e^{-T}$ wanneer het filter secundair met de bijbehoorende spiegelbeeldimpedantie gesloten is. Uit fig. 4 zien we, dat de secundaire stroom I_2 van de eerste cel de primaire stroom is van de tweede cel. Evenzoo is de secundaire stroom I_3 van de tweede cel gelijk aan de primaire stroom van de derde cel, enz. Voor een filter, bestaande uit n cellen, is dus

$$\frac{I_2}{I_1} = \sqrt{\frac{Z_a}{Z_b}}\, e^{-T_1} \quad ;$$

$$\frac{I_3}{I_2} = \sqrt{\frac{Z_b}{Z_c}}\, e^{-T_2} \quad ;$$

$$\vdots$$

$$\frac{I_{n+1}}{I_n} = \sqrt{\frac{Z_n}{Z_{n+1}}}\, e^{-T_n} \quad .$$

Vermenigvuldigen we de eerste leden dezer vergelijkingen en ook de tweede leden, dan vinden we:

$$\frac{I_{n+1}}{I_1} = \sqrt{\frac{Z_a}{Z_{n+1}}}\, e^{-(T_1+T_2+\ldots+T_n)} \quad . \quad . \quad (6)$$

Dus de voortplantingsconstante van het samengestelde filter is gelijk aan de som der voortplantingsconstanten der afzonderlijke cellen.

Wij hebben hier het verband tusschen de primaire en de secundaire stroom van het filter afgeleid voor het geval, dat het filter secundair met de bijbehoorende spiegelbeeldimpedantie gesloten is. In de praktijk is dit echter nooit voor alle frequenties het geval. Daardoor vertoont I_2/I_1 in de doorlaatgebieden een onregelmatig verloop als functie van de frequentie, des te onregelmatiger, naarmate de impedantie, waarmee de secundaire kring is gesloten, meer van de secundaire spiegelbeeldimpedantie afwijkt. Daarom zal men in de practijk gewoonlijk trachten, althans in de doorlaatgebieden deze twee impedanties zoo goed mogelijk aan elkaar gelijk te maken. We hebben gezien, dat de spiegelbeeldimpedanties van het samengestelde filter gelijk zijn aan de spiegelbeeldimpedanties van de eindcellen. Uit het volgende hoofdstuk zal blijken, dat de spiegelbeeldimpedantie in het doorlaatgebied met groote benadering een reëele weerstand is, doch afhankelijk van de frequentie. We zullen later eenige speciale eindcellen leeren kennen, waarvan de spiegelbeeldimpedantie in het grootste deel van het doorlaatgebied vrijwel onafhankelijk is van de frequentie. Sluit men dan het filter secundair met een constante weerstand van de juiste waarde, dan is een vrij goede benadering verkregen van het hier beschouwde ideale geval; de gecompliceerde berekening, noodig om de exacte waarde van I_2/I_1 als functie van de frequentie te bepalen, laten we in deze verhandeling achterwege.

We zullen een groot aantal verschillende typen filtercellen leeren kennen, waarbij er zijn met gelijke spiegelbeeldimpedanties, doch verschillende voortplantingsconstanten als functie van de frequentie. Ook zijn er bij, die als functie van de frequentie gelijke voortplantingsconstanten, doch verschillende spiegelbeeldimpedanties hebben. Wenscht men een filter te construeeren, waarvan de voortplantingsconstante aan gegeven eischen voldoet, dan maakt men een keuze uit een combinatie van de bekende typen filtercellen, zoodanig, dat de som der voortplantingsconstanten van de afzonderlijke cellen de vereischte waarde heeft. Verder kiest men uit de cellen met gelijke voortplantingsconstanten die typen, welke het mogelijk maken, overal op de verbindingsplaatsen der cellen gelijke spiegelbeeldimpedanties aan elkaar te laten sluiten.

Filters, bestaande uit verliesvrije reactanties

In het doorlaatgebied wenschen we een zoo goed mogelijke energieoverdracht. Bevat het filter weerstanden, dan zullen deze energieverlies geven. Daarom zal men in het algemeen een filter het liefst samenstellen uit reactanties (zelfinducties, capaciteiten en wederzijdsche inducties) met zoo gering mogelijke verliezen. Volkomen verliesvrije reactanties zijn niet te bereiken, maar wel te benaderen. Daarom zullen we eerst enkele eigenschappen beschouwen van ideale filters, bestaande uit verliesvrije reactanties.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Digitized by www.freeservicemanuals.info

Voor deze filters zijn de nullast- en kortsluitimpedanties Z_{ao}, Z_{ak}, Z_{bo} en Z_{bk} imaginair (voor enkele bijzondere frequenties nul of oneindig), daar het impedanties zijn van netten, uitsluitend bestaande uit imaginaire impedanties. Als quotient van twee imaginaire grootheden is Z_k/Z_o reëel.

Is in een frequentiegebied Z_k/Z_o negatief, dan volgt uit de formules (1) tot (5), dat Z_a en Z_b reëel zijn en T imaginair, dus $\alpha = 0$. Een reële impedantie is in een passief net nooit negatief, dus Z_a en Z_b zijn hier positief reëel. Uit (5) volgt nu:

$$\frac{|I_2|}{|I_1|} = \sqrt{\frac{Z_a}{Z_b}}$$

of $|I_2|^2 Z_b = |I_1|^2 Z_a$, dus het aantal volt-amperes, primair aan het filter toegevoerd, wordt door het filter secundair geleverd. Het filter verzwakt dus niet; dit frequentiegebied is een doorlaatgebied. Hier is $T = j\beta$, hetgeen wil zeggen, dat een phasehoek β bestaat tusschen I_1 en I_2. Is in het bijzonder $Z_a = Z_b$, dan is $|I_1|^2 = |I_2|^2$, dus zijn de amplituden der primaire en secundaire stroomen gelijk.

Is in een frequentiegebied Z_k/Z_o positief, dan blijkt op overeenkomstige wijze, dat Z_a en Z_b imaginair zijn en $T = \alpha + j\beta$ complex, waarbij $\alpha > 0$ en β een veelvoud van $\pi/2$ is. Dan is $I_2^2 Z_b < I_1^2 Z_a$; dus wordt secundair door het filter een geringer aantal volt-amperes geleverd dan primair wordt toegevoerd. Het filter verzwakt dus; dit frequentiegebied is een dempingsgebied.

Uit het bovenstaande volgt, dat voor een filter, bestaande uit verliesvrije reactanties, de spiegelbeeldimpedanties in de doorlaatgebieden reëel, in de dempingsgebieden imaginair, dus nooit complex zijn.

De scheiding tusschen een doorlaat- en een dempingsgebied noemt men een grensfrequentie. Z_k/Z_o gaat hierbij over van negatief naar positief, en is dus nul of oneindig.

Bijzondere aandacht verdienen nog die frequenties, waarvoor $Z_k/Z_o = +1$. Uit (4) volgt nl. voor deze frequenties: $e^{-2T} = 0$, dus volgens (5) is $I_2 = 0$, dus het filter laat geen stroom van deze frequenties door. Men noemt dit frequenties met oneindige demping. Dat de demping oneindig is als $Z_k/Z_o = +1$, dus als $Z_k = Z_o$, is ook onmiddellijk in te zien. $Z_{ak} = Z_{ao}$ wil zeggen, dat kortsluiten of openen van de secundaire klemmen geen invloed heeft op de impedantie, gemeten tusschen de primaire klemmen, dus ook niet op de stroomverdeeling in het filter. Dus bij open secundaire klemmen is er evenmin spanning tusschen deze klemmen als bij kortgesloten secundaire klemmen. Schakelt men een uitwendige impedantie tusschen deze klemmen, dan zal daar dus geen stroom in vloeien. En een secundaire stroom gelijk nul beteekent oneindige demping.

Voor werkelijke filters, waarvan de spoelen en condensatoren steeds eenige weerstand bezitten, gelden deze beschouwingen natuurlijk niet exact, maar wel bij benadering. Men definieert dan de doorlaat- en dempingsgebieden, de grensfrequenties en de frequenties met oneindige demping zooals hierboven werd aangegeven, met verwaarloozing van de weerstanden. In de doorlaatgebieden is dan een zekere kleine demping aanwezig; voor de „frequenties met oneindige demping" is de demping dan niet oneindig, maar vertoont een maximum; bij het bepalen van de spiegelbeeldimpedanties kan men in de regel zonder bezwaar de weerstanden in de filterelementen verwaarloozen.

Spiegelbeeldimpedanties en voortplantingsconstanten van filtercellen volgens fig. 1

We hebben voor de drie grootheden, die het filter definieeren, gekozen: de spiegelbeeldimpedanties Z_a en Z_b en de voortplantingsconstante T. De filtercellen van fig. 1 zijn echter gegeven door de impedanties Z_1 en Z_2. We drukken nu eerst de nullast- en kortsluitimpedanties uit in de impedanties Z_1 en Z_2, en vervolgens met behulp van de formules (1) tot (4) de spiegelbeeldimpedanties Z_a en Z_b en de voortplantingsconstante T in de impedanties Z_1 en Z_2.

Vormen we een T-cel uit twee halve cellen (fig. 2a), dan is op de verbindingsplaats der halve cellen voldaan aan de voorwaarde, dat gelijke spiegelbeeldimpedanties aan elkaar sluiten: de beide halve cellen zijn elkaars spiegelbeeld. Vormen we een Π-cel uit twee halve cellen (fig. 2b), dan is eveneens aan deze voorwaarde voldaan. Hieruit volgt, dat de spiegelbeeldimpedanties van de T-cel dezelfde zijn als de spiegelbeeldimpedantie van de halve cel aan de linkerzijde van fig. 1d, en dat de spiegelbeeldimpedanties van de Π-cel dezelfde zijn als de spiegelbeeldimpedantie van de halve cel aan de linkerzijde van fig. 1e. In fig. 1b tot e treden dus slechts twee verschillende spiegelbeeldimpedanties op, die we duidelijkheidshalve niet meer Z_a en Z_b zullen noemen, maar Z_T en Z_π, zooals in fig. 1 aangegeven. We berekenen de spiegelbeeldimpedanties en de voortplantingsconstante

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

het eenvoudigst voor de halve cel uit de nullast en kortsluitimpedanties Z_o en Z_k.

Voor de linkerzijde van de halve cel van fig. 1*d* is:

$$Z_o = \tfrac{1}{2} Z_1 + 2 Z_2 \quad ; \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

$$Z_k = \tfrac{1}{2} Z_1 \quad ; \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

$$Z_T = \sqrt{Z_o Z_k} = \sqrt{Z_1 Z_2}\sqrt{1 + \frac{Z_1}{4 Z_2}} \quad ; \quad . \quad . \quad (9)$$

voor de linkerzijde van de halve cel van fig. 1*e* is:

$$Z_o = 2 Z_2 \quad ; \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (10)$$

$$Z_k = \frac{2 Z_1 Z_2}{Z_1 + 4 Z_2} \quad ; \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (11)$$

$$Z_\pi = \sqrt{Z_o Z_k} = \frac{\sqrt{Z_1 Z_2}}{\sqrt{1 + \frac{Z_1}{4 Z_2}}} \quad ; \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (12)$$

voor beide halve cellen is, zoowel links als rechts:

$$\frac{Z_k}{Z_o} = \frac{1}{1 + \frac{4 Z_2}{Z_1}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (13)$$

De voortplantingsconstante T is voor de halve cel bepaald door:

$$e^{-2T} = \frac{\sqrt{1 + \frac{Z_1}{4 Z_2}} - \sqrt{\frac{Z_1}{4 Z_2}}}{\sqrt{1 + \frac{Z_1}{4 Z_2}} + \sqrt{\frac{Z_1}{4 Z_2}}} \quad ; \quad . \quad . \quad . \quad (14)$$

hetgeen blijkt door (13) te substitueeren in (4).

Voor een geheele cel, die, het zij in de T-vorm hetzij in de Π-vorm, te beschouwen is als een serieschakeling van twee halve cellen, is de voortplantingsconstante volgens (6) tweemaal zoo groot als voor de halve cel; dus zoowel voor de T-cel als voor de Π-cel geldt:

$$e^{-T} = \frac{\sqrt{1 + \frac{Z_1}{4 Z_2}} - \sqrt{\frac{Z_1}{4 Z_2}}}{\sqrt{1 + \frac{Z_1}{4 Z_2}} + \sqrt{\frac{Z_1}{4 Z_2}}} \quad ; \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (15)$$

We zien dus, dat de grootheden, die onze filtercellen [3]) definieeren, nl. Z_T, Z_π en T, uit te drukken zijn in $Z_1 Z_2$ en $Z_1/4 Z_2$. Daar T een functie is alleen van $Z_1/4 Z_2$, berekenen we in het vervolg niet T zelf, doch slechts $Z_1/4 Z_2$ en vinden dan T uit een graphische voorstelling van α en β als functie van $Z_1/4 Z_2$. Deze graphiek zal in het volgende artikel behandeld worden.

We hebben gevonden, dat voor filters, bestaande uit verliesvrije reactanties, in het doorlaatgebied Z_k/Z_o negatief reëel is. Uitgedrukt in Z_1 en Z_2 wordt deze voorwaarde, volgens (13);

$$-1 < \frac{Z_1}{4 Z_2} < 0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (16)$$

Hieruit volgt, dat voor de grensfrequenties een der twee betrekkingen

$$\frac{Z_1}{4 Z_2} = \begin{cases} 0 \\ -1 \end{cases} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (17)$$

geldt. $Z_1/4 Z_2 = 0$ als $Z_1 = 0$ en $Z_2 \neq 0$, of als $Z_1 \neq \infty$ en $Z_2 = \infty$; $Z_1/4 Z_2 = -1$ als $Z_1 = -4 Z_2$.

Voor de frequenties met oneindige demping hebben we gevonden: $Z_k/Z_o = +1$, waaruit volgt, met behulp van (13):

$$\frac{Z_1}{4 Z_2} = \infty \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (18)$$

dus $Z_1 = \infty$ en $Z_2 \neq \infty$, of $Z_1 \neq 0$ en $Z_2 = 0$. Dit is ook onmiddellijk in te zien. Is nl. $Z_1 = \infty$, dan zal deze tak geen stroom doorlaten en is de secundaire stroom dus nul; is $Z_2 = 0$, dan zal tusschen de uiteinden van deze tak de spanning nul zijn, en er dus na deze tak, dus ook tusschen de secundaire klemmen, geen stroom vloeien. De gevallen, waarbij Z_1 en Z_2 beide nul of oneindig zijn, vereischen in voorkomende gevallen een nadere beschouwing.

m-transformaties

In de T- en Π-cellen volgens *fig.* 1*b* en *c*, hebben we cellen leeren kennen, die dezelfde voortplantingsconstante, doch verschillende spiegelbeeldimpedanties bezitten. We zullen nu een methode behandelen, die ons leert, uit een gegeven filtercel, die we het grondtype zullen noemen, en waarvan we de bijbehoorende grootheden met een accent zullen aanduiden, andere cellen af te leiden, die dezelfde spiegelbeeldimpedantie bezitten, doch verschillende voortplantingsconstanten. Boven (blz. 273) werd aangetoond, dat de spiegelbeeldimpedanties in het doorlaatgebied reëel en in het dempingsgebied imaginair zijn. Uit het feit, dat de afgeleide filters dezelfde spiegelbeeldimpedanties bezitten als het grondtype, volgt dus, dat beide typen ook dezelfde doorlaat- en dempingsgebieden hebben.

a) *m_T-transformatie.* We stellen ons eerst het probleem van de halve cel van fig. 1*d* een andere halve cel af te leiden, die links dezelfde spiegelbeeldimpedantie $Z_T = Z_T'$ heeft. We weten, dat $Z_T = \sqrt{Z_o Z_k}$. Vermenigvuldigen we Z_k met een

[3]) Tusschen T-cellen en Π-cellen bestaat een dualiteit. Door bij Π-cellen in plaats van de impedanties Z de admittanties $1/Z$ als variabelen te gebruiken, verkrijgt men voor de verg. (10) tot (12) formules, die geheel overeenstemmen met de verg. (7) tot (9) voor T-cellen. Hierdoor is het mogelijk, om de resultaten van berekeningen aan T-cellen over te dragen op Π-cellen en omgekeerd. Een voorbeeld geven de verg. (21) tot (25) voor de „m_T-transformatie" en (27) tot (31) voor de „m_π-transformatie".

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

positief reëel getal m en deelen we Z_o door hetzelfde getal m, dan blijft Z_T onveranderd. Voor de oorspronkelijke halve cel is $Z_k' = \frac{1}{2} Z_1'$, voor de getransformeerde cel dus:

$$Z_k = \tfrac{1}{2} m Z_1' ; \quad . . . . . (19)$$

voor de oorspronkelijke cel is $Z_o' = \frac{1}{2} Z_1' + 2 Z_2'$, voor de getransformeerde cel dus:

$$Z_o = \frac{Z_1'}{2m} + \frac{2 Z_2'}{m} ; \quad . . . . . (20)$$

Nu is de vraag: hoe is de halve cel samengesteld, die hieraan beantwoordt? Noemen we voor de getransformeerde cel de impedanties der volledige takken Z_1 en Z_2, dan blijkt uit (7), (8), (19) en (20):

$$Z_1 = m Z_1' ; \quad . . . . . (21)$$

$$Z_2 = \frac{1 - m^2}{4m} Z_1' + \frac{1}{m} Z_2' \quad . . . . . (22)$$

Met deze waarden van Z_1 en Z_2 voor de volledige takken kunnen we nu een halve cel, een T-cel en een Π-cel vormen *(fig. 5)*.

Daar de spiegelbeeldimpedantie Z_T voor de volledige T-cel (fig. 5*b*) dezelfde is als de primaire spiegelbeeldimpedantie Z_T voor de halve cel (fig. 5*d*), is dus voor de T-cel van fig. 5 *b* de spiegelbeeldimpedantie Z_T dezelfde als de spiegelbeeldimpedantie Z_T van het grondtype (fig. 1 *b*), onafhankelijk van de keuze van den parameter m. Dus

$$Z_T = Z_T' ; \quad . . . . . (23)$$

Uit (12) en (14) volgt echter, dat Z_π en T voor het getransformeerde type niet gelijk zijn aan Z_π' en T' voor het grondtype. Men vindt nl. voor deze cellen, als men $1 - m^2 = 1/a^2$ stelt, uit (12), (19), (20), (21) en (22):

$$Z_\pi = Z_\pi' \left(1 + \frac{1}{a^2} \frac{Z_1'}{4 Z_2'}\right) ; \quad . . . . . (24)$$

$$\frac{Z_1}{4 Z_2} = \frac{Z_1'}{4 Z_2'} \frac{m^2}{1 + \frac{1}{a^2} \frac{Z_1'}{4 Z_2'}} \quad . . . . . (25)$$

Schakelt men dus T-cellen van het grondtype en T-cellen van dit getransformeerde type in serie, dan sluiten op de verbindingsplaatsen der cellen steeds gelijke spiegelbeeldimpedanties aan elkaar. Voor Π-cellen van dit type geldt dit echter niet.

Uit (22) volgt, dat deze transformatie alleen dan realiseerbaar is, wanneer

$$0 \leqslant m \leqslant 1 \quad . . . . . (26)$$

Is $m = 0$, dan verdwijnt het filter; voor $m = 1$ krijgt men het grondtype terug.

Omdat door deze transformatie van het grondtype Z_T niet verandert, noemen we dit de m_T-transformatie.

b) m_π-transformatie. We kunnen op de volledige takken van het grondtype ook een zoodanige transformatie toepassen, dat Z_π dezelfde blijft, Dit noemen we de m_π-transformatie. Op analoge wijze als voor de m_T-transformatie is afgeleid vinden we voor de m_π-transformatie:

$$Z_1 = \text{de parallelschakeling van } m Z_1' \text{ en } \frac{4m}{1 - m^2} Z_2' ; \quad (27)$$

$$Z_2 = \frac{1}{m} Z_2' ; \quad . . . . . (28)$$

$$Z_\pi = Z_\pi' ; \quad . . . . . (29)$$

$$Z_T = Z_T' \frac{1}{1 + \frac{1}{a^2} \frac{Z_1'}{4 Z_2'}} ; \quad . . . . . (30)$$

$$\frac{Z_1}{4 Z_2} = \frac{Z_1'}{4 Z_2'} \frac{m^2}{1 + \frac{1}{a^2} \frac{Z_1'}{4 Z_2'}} \quad . . . . . (31)$$

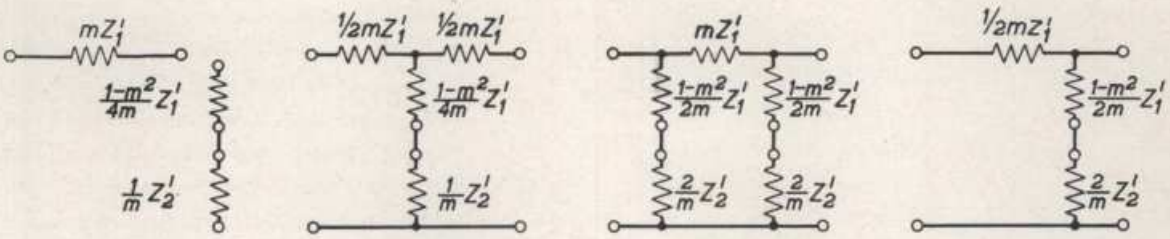

Fig. 5. De spiegelbeeldimpedanties Z_T van de T-cel (*b*) en de primaire spiegelbeeldimpedantie Z_T van de halve cel (*d*, links) zijn onderling gelijk, en gelijk aan de spiegelbeeldimpedantie Z_T' van het grondtype (fig. 1*b*). De spiegelbeeldimpedanties Z_π van de Π-cel (*c*) en de secundaire spiegelbeeldimpedantie Z_π van de halve cel (*d*, rechts) zijn onderling gelijk, doch niet gelijk aan de spiegelbeeldimpedantie Z_π van het grondtype (fig. 1*c*). De voortplantingsconstanten T van de T-cel (*b*) en de Π-cel (*c*) zijn onderling gelijk, doch niet gelijk aan de voortplantingsconstante T' van het grondtype (fig. 1*b* en *c*).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

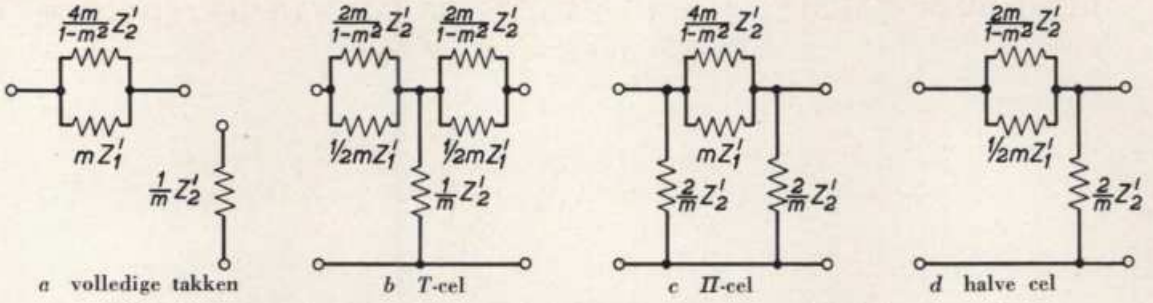

Fig. 6. m_π-transformatie. De spiegelbeeldimpedanties Z_π van de Π-cel (*c*) en de secundaire spiegelbeeldimpedantie Z_π van de halve cel (*d*, rechts) zijn onderling gelijk, en gelijk aan de spiegelbeeldimpedantie Z_π' van het grondtype (fig. 1c). De spiegelbeeldimpedanties Z_T van de *T*-cel (*b*) en de primaire spiegelbeeldimpedantie Z_T van de halve cel (*d*, links) zijn onderling gelijk, doch niet gelijk aan de spiegelbeeldimpedantie Z_T' van het grondtype (fig. 1*b*). De voortplantingsconstanten T van de *T*-cel (*b*) en de Π-cel (*c*) zijn onderling gelijk, en ook gelijk aan de voortplantingsconstante T voor de *T*-cel en Π-cel van de m_T-transformatie (fig. 5, *b* en *c*), doch niet gelijk aan de voortplantingsconstante T' van het grondtype (fig. 1, *b* en *c*).

Ook hier moet weer aan de voorwaarde (26) voldaan zijn. Uit (25) en (31) blijkt, dat, bij dezelfde waarde van m, $Z_1/4\,Z_2$ en daarmee de voortplantingsconstante T voor beide transformaties dezelfde is. *Fig. 6* geeft aan, hoe men van deze getransformeerde takken een *T*-cel, een Π-cel en een halve cel vormt. Schakelt men Π-cellen van het grondtype en Π-cellen van dit getransformeerde type in serie, dan sluiten op de verbindingsplaatsen der cellen gelijke spiegelbeeldimpedanties aan elkaar. Dit geldt echter niet voor *T*-cellen van dit type.

Het spreekt vanzelf, dat men na bijv. de m_T-transformatie te hebben toegepast, de getransformeerde cel weer als een nieuw grondtype kan beschouwen en daarop de m_π-transformatie kan toepassen of omgekeerd.

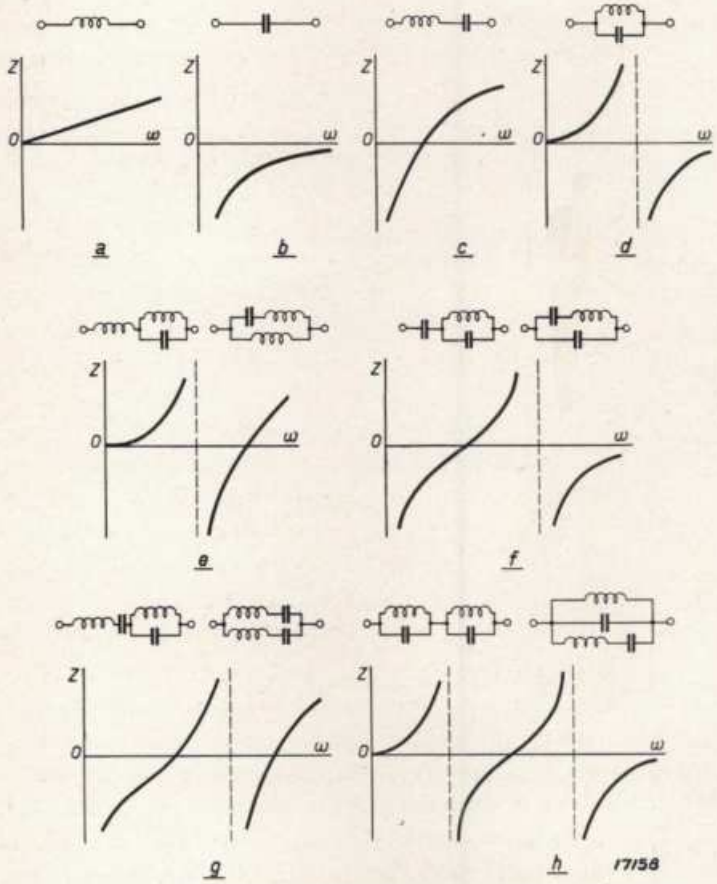

Fig. 7. Reactanties, bestaande uit 1, 2, 3 of 4 elementen.

Reactantiediagrammen

Een algemeene eigenschap van netten, bestaande uit weerstandslooze reactanties, is, dat de impedantie steeds toeneemt met toenemende frequentie, uitgezonderd discontinue sprongen van $+ j\,\infty$ naar $- j\,\infty$, *Fig. 7* geeft als voorbeelden de reactanties, die we later zullen gebruiken als filtertakken, met de voorstelling van de reactantie als functie van de frequentie. Bij reactanties, bestaande uit meer dan twee elementen, zijn meerdere aequivalente schakelingen mogelijk (fig. 7 *e* tot *h*).

Deze reactantiediagrammen zijn een eenvoudig hulpmiddel om althans kwalitatief de voornaamste eigenschappen van de voortplantingsconstante van een bepaalde filtercel af te leiden.

In de volgende artikelen zal bij de behandeling van de verschillende eenvoudige typen cellen voor laag-, hoog- en banddoorlatende filters blijken, hoe men van deze reactantiediagrammen gebruik maakt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

EEN NIEUW TOESTEL VOOR HET ONDERZOEK VAN MATERIALEN OP HUN LICHTECHTHEID

door J. F. H. CUSTERS.

Samenvatting. Een toestel wordt beschreven, waarmee het mogelijk is stoffen met behulp van een belichting van korten duur op hun lichtechtheid te onderzoeken.

Inleiding

Volkomen lichtechte gebruiksstoffen bestaan er niet. Het blijkt, dat het zonlicht op elke stof een werking uitoefent, die met een blijvende fotochemische verandering van de kleur, dikwijls ook van de vezel vergezeld gaat. Van stof tot stof kan deze verandering verschillend zijn, zoowel wat betreft de mate als de aard ervan. Sommige stoffen worden lichter, andere worden donkerder, weer andere krijgen een van de oorspronkelijke geheel afwijkende kleur [1]).

Hoe onderzoekt men de bestendigheid van een stof tegen de inwerking van licht en op welke wijze wordt de lichtechtheid genormaliseerd? Waar het te doen is om de weerstand tegen daglicht en direct zonlicht ligt het voor de hand, het monster in de zon te brengen en te wachten tot er een merkbare verandering van kleur geconstateerd kan worden. Wanneer men op deze wijze normen voor de lichtechtheid zou willen vastleggen, ontmoet men een aantal wisselende factoren, waarmee rekening moet worden gehouden.

In de eerste plaats is het dan noodig het verloop der intensiteit te kennen van de op het monster vallende straling gedurende de tijd, dat de stof belicht werd. De belichtingsintensiteit is immers niet constant. Behalve de veranderingen der intensiteit met de zonshoogte (dagelijksche en jaarlijksche beweging van de zon) zijn er de intensiteitsschommelingen, welke door de soms sterk wisselende meteorologische toestand van de atmosfeer der aarde bepaald worden. Zoo zal in de loop van het onderzoek de wolkenbedekking sterk kunnen veranderen, terwijl ook zonder deze verandering de intensiteit varieert tengevolge van de wisselende dichtheid van de waterdamp. Verder moet men er rekening mee houden, dat de spectrale energieverdeeling van het zonlicht veranderlijk is. Het winterzonlicht bevat bijv. naar verhouding veel minder ultraviolette straling van korte golflengte dan het zomerzonlicht en tenslotte wijkt de genoemde samenstelling van het directe zonlicht sterk af van die van het indirecte daglicht, waarbij weer de wolkenbedekking een rol speelt. Men kan deze intensiteitsveranderingen in rekening brengen door met behulp van een geschikt instrument (fotocel of thermozuil) de zonne-intensiteit tijdens de belichting van het monster uit te drukken in een bepaalde standaardeenheid, bijv. de hoeveelheid licht, welke op een heldere, wolkenlooze zomerdag per oppervlakteeenheid en per tijdseenheid op het monster valt. Men onderstelt hierbij stilzwijgend, dat de relatieve spectrale energieverdeeling van het op de stof vallende licht voortdurend dezelfde blijft. Met behulp van een dergelijke methode van onderzoek zou men dan de normen voor de lichtechtheid kunnen vaststellen, doordat men klassen van lichtechtheid definieert en met elke klasse een bepaald aantal der genoemde standaard-eenheden van lichthoeveelheid overeen doet komen.

De genoemde wijze van onderzoek is echter omslachtig en kost veel tijd, in het bijzonder als men ook in de wintermaanden lichtechtheidsonderzoekingen wil doen. Het is dus bijna vanzelfsprekend, dat men naar eenvoudiger wegen gezocht en deze ten deele ook gevonden heeft. Zij waren van tweeërlei aard. Ter eener zijde trachtte men de genoemde omslachtigheid te vermijden door uit te gaan van een aantal standaard-monsters (Typ-Färbungen), die men ieder een bepaalde klasse van lichtechtheid toekende en welke collectie ter vergelijking tegelijk met het te onderzoeken monster belicht wordt, ter anderer zijde vervaardigde men ter vervanging van het natuurlijke zonlicht een kunstmatige lichtbron, welke meestal een constante intensiteit heeft en waarmee men het monster, al of niet samen met de standaardcollectie, belichten kan. De belangrijkste voorwaarde, welke aan een kunstmatige bron gesteld wordt, is, dat het uitgezonden licht dezelfde relatieve spectrale energieverdeeling bezit als het zonlicht. Het behoeft nauwelijks gezegd te worden, dat een lage-druk-kwiklamp, welke men wel eens voor dit doel bezigt, totaal ongeschikt is voor dergelijke onderzoekingen, want zij zendt niet slechts een lijnenspectrum met weinig lijnen uit, doch in de uitgezonden straling zijn

[1]) Een aardig voorbeeld van kleurafwijking ontdekte de schrijver in de uitstalkast van een cigarettenwinkel, waar een donker chocoladebruin pakje eenigermate groenachtig geworden was. Bij voortzetten der belichting werd de kleur van dit papier van chocoladebruin tot zeer bestendig helder gras-groen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

bovendien de ultraviolette spectraallijnen met een te sterke intensiteit vertegenwoordigd.

Een groot nadeel van de tot nu toe gebezigde kunstmatige lichtbronnen is, dat de tijd, gedurende welke bestraald moet worden om een duidelijke verandering van kleur bij het monster op te wekken, in het algemeen zeer lang is.

In het hier nader te beschrijven nieuwe toestel werd dit bezwaar ondervangen door het licht, afkomstig van een op bijzondere wijze gebouwde gloeilamp, zoodanig te concentreeren, dat het monster, waarvan men de lichtechtheid wil nagaan, met de ca. vijftigvoudige intensiteit der zonnestraling belicht wordt. Tevens wordt door geschikt gekozen filters de samenstelling van het uitgezonden licht zoo veranderd, dat de relatieve spectrale energieverdeeling zeer goed met die van de zon overeenstemt.

Beginsel van het toestel

De concentratie van de straling wordt in het toestel verkregen door gebruik te maken van de eigenschap der omwentelings-ellipsoïde om elke lichtstraal afkomstig van één der brandpunten door reflectie op het ellipsoïde-oppervlak naar het andere brandpunt te weerkaatsen. Hiervan is gebruik gemaakt door in het ééne brandpunt van een ellipsoïde een zoo goed mogelijk puntvormige lichtbron te plaatsen en het te onderzoeken monster in het andere brandpunt te brengen.

De lichtbron is een met gas gevulde wolfraamlamp van 750 watt, welke op een temperatuur van 3100°K gloeit, daarbij een totale lichtstroom van 20 000 lumen uitzendt en een levensduur van ruim 100 uren heeft.

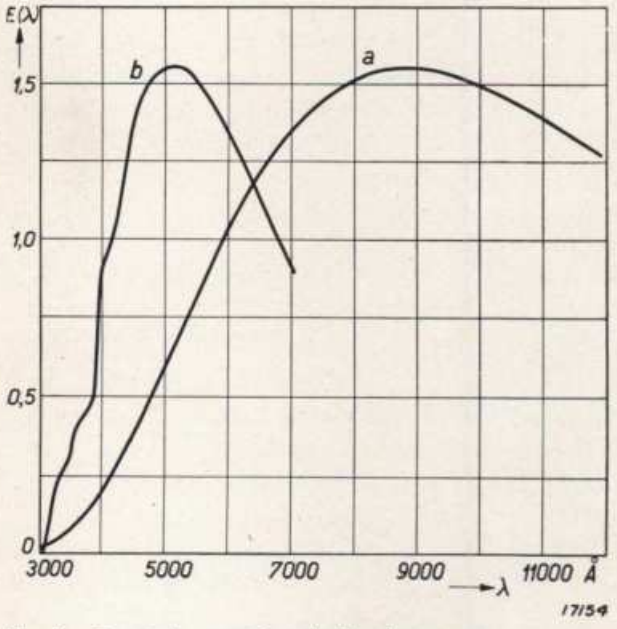

Fig. 1. Spectrale energieverdeelingskrommen:
a) van het licht der gloeilamp,
b) van zonlicht.

In *fig. 1* vindt men de energie $E(\lambda)$ van de straling der gloeilamp als functie van de golflengte in Å (kromme *a*). Verder bevindt zich in de figuur de kromme der zonnestraling (kromme *b*).

Het blijkt, dat beide energieverdeelingen sterk van elkander afwijken. Met behulp van geschikte absorptiefilters kunnen zè echter met elkaar in overeenstemming worden gebracht. De voorwaarde, waaraan het ideale filter moet voldoen, is, dat bij elke golflengte de verhouding der $E(\lambda)$ van zon en gloeilamp evenredig is met de doorlating van het filter bij die golflengte. In ons geval komt er dan nog de zware eisch bij, dat het filter volkomen bestand moet zijn tegen licht, waardoor wij zeer beperkt worden in de keuze van het filtermateriaal. Een oplossing van kopersulfaat van een bepaalde concentratie in water voldoet zeer wel aan beide gestelde eischen, zooals wij nog nader zullen zien. In *fig. 2* vindt men de spectrale doorlatingskromme van een met de genoemde filtervloeistof

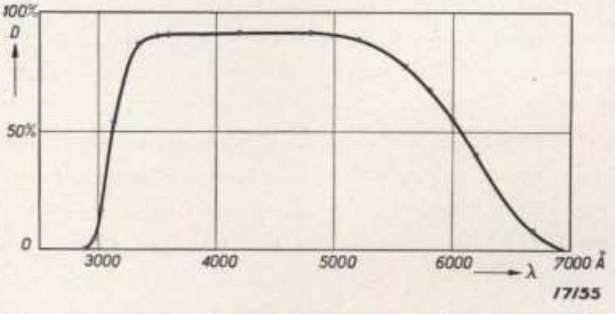

Fig. 2. Spectrale doorlatingskromme van het kopersulfaatfilter. Combineert men deze met kromme *a* van fig. 1, dan ziet men, dat in dit filter een belangrijk deel der energie van het licht met groote golflengte wordt geabsorbeerd.

gevulde kwarts-cuvette. Dit filter wordt in de nabijheid van het tweede brandpunt geplaatst, zoodat het op het monster vallende licht het filter passeert en daarbij voor een gedeelte wordt geabsorbeerd. Dit gedeelte is echter zeer aanzienlijk, zooals uit de figuren 1 (kromme *a*) en 2 blijkt; de geheele energie immers, die door de gloeilamp in het gebied van golflengten grooter dan 7000 Å wordt uitgezonden, en dat is meer dan 85% van de totale uitgezonden energie, wordt in het filter geabsorbeerd en omgezet in warmte. Het gevolg hiervan zou zijn, dat de temperatuur der cuvette zeer snel zou stijgen. Op de een of andere wijze moet dit vermeden worden, bijv. door te zorgen, dat de energie der groote golflengten reeds uit het licht gefilterd wordt, vóórdat dit op de cuvette valt. Zeer geschikt voor dit doel is een voldoend dikke

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

laag water. In *fig. 3* zijn de spectrale doorlatingskrommen van een 1 cm en van een 27 cm dikke laag water weergegeven.

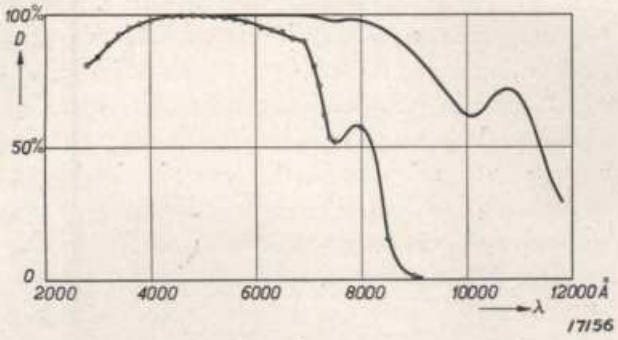

Fig. 3. Spectrale doorlatingskrommen van waterlagen van 1 resp. 27 cm dikte.

Met de laatstgenoemde kromme hebben wij in ons geval te maken. In de praktische uitvoering van het toestel wordt namelijk de geheele ellipsoïde met zuiver water gevuld, terwijl de afmetingen der ellipsoïde zoodanig zijn, dat de van brandpunt tot brandpunt via het ellipsoïde-oppervlak afgelegde weg 27 cm is. Wij zien uit de figuur, dat zuiver water tusschen 3000 en 7000 Å bijna volkomen transparant is, terwijl bij grootere golflengten dan 9000 Å de invallende straling volkomen wordt geabsorbeerd. De in dit water gedissipeerde energie is zoo groot, dat wij een bijzondere maatregel moeten treffen om de vrijkomende warmte af te leiden, waarop nog nader zal worden ingegaan. In *fig. 4* vindt men nu de energieverdeelingskromme van de gloeilamp zelve (*1*), van het licht, dat

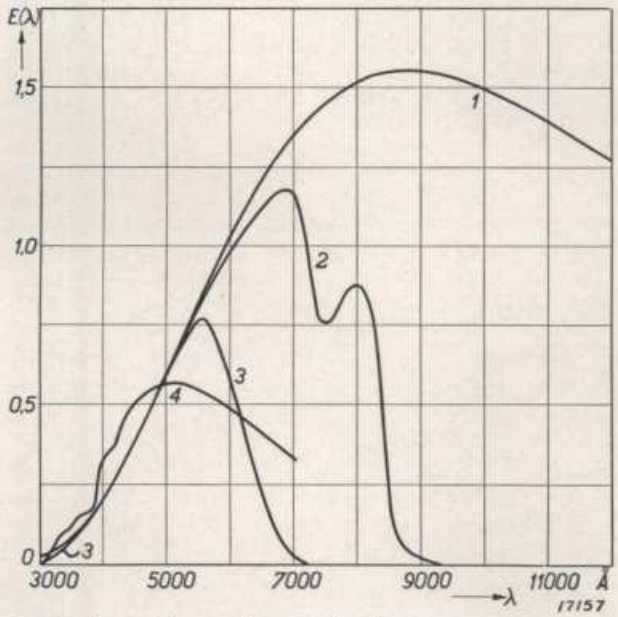

Fig. 4. Spectrale energieverdeelingskrommen:
1) van het licht der gloeilamp,
2) nadat dit licht 27 cm water doorloopen heeft,
3) nadat het licht bovendien het filter is gepasseerd,
4) van zonlicht (ter vergelijking met kromme *3*).

de waterkolom heeft doorloopen (*2*), van het licht, dat bovendien de cuvette is gepasseerd (*3*) en van het zonlicht, zooals dit de aarde bereikt (*4*). Zooals men ziet, komen de relatieve spectrale energieverdeelingen van het zonlicht en het uit het toestel tredende licht behoorlijk overeen. Bij grootere golflengten dan 6000 Å is de afwijking het sterkst. In dit golflengtegebied is de fotochemische werking van licht echter dermate gering, dat wij van dit verschil geheel kunnen afzien. Zooals uit onderzoekingen van Rein[2]) blijkt, is het in het bijzonder de zeer energierijke zichtbare straling, die op vele stoffen veranderend inwerkt. Door vergelijkende belichtingsproeven achter kwartsglas (totale zonnestraling) en vensterglas (afsnijding bij ca. 3250 Å) toonde hij verder aan, dat het verre ultraviolet der zonnestraling slechts in zeer geringe mate tot de werking van zonlicht op allerlei gekleurde stoffen bijdraagt, hetgeen in tegenstelling staat tot de gangbare meening. Het hangt geheel van het absorptiespectrum van de onderzochte stof af, welke golflengtegebieden de sterkste kleurveranderende werking uitoefenen. Witte en gele pigmenten (bijv. witte of ongekleurde vezel- en verfstoffen, wit papier, films, e.d.), welke uitsluitend ultraviolet licht absorbeeren en waarvan de absorptie meestal toeneemt met afnemende golflengte, vertoonen echter duidelijk verschillen bij belichting achter kwarts- resp. vensterglas. Het is derhalve toch gewenscht, dat de kunstmatige lichtbron eveneens straling bevat van golflengten tot 3000 Å. Gekleurde stoffen absorbeeren niet slechts in het ultraviolet, doch eveneens sterk in het zichtbare gedeelte van het spectrum en omdat in dit gedeelte de zon het rijkst is aan energie, zal voor gekleurde stoffen de verwoestende werking van zonlicht ook in het bijzonder door dit golflengtegebied worden uitgeoefend.

Bouw van het toestel

In *fig. 5* is te zien, hoe het toestel is uitgevoerd. Van de ellipsoïde is slechts de bovenste helft toegepast (als gevolg van constructieve bezwaren bij de uitvoering van een volledige ellipsoïde) en deze is aan de bovenzijde van een hals voorzien. De onderzijde wordt afgesloten door een kegelmantel, welke aan de benedenzijde op zijn beurt als afsluiting een kwartsplaatje *K* heeft. De ellipsoïde is inwendig glanzend verchroomd. Het reflectievermogen van chroom voor loodrecht invallend licht varieert in het ons interesseerende golflengtegebied (3000 Å — 7500 Å) van 61 tot 71%; aangezien het grootste gedeelte van het licht der gloeilamp onder

[2]) H. Rein, Z. angew. Chem. **47**, 157, 1934.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

een vrij kleine hoek op het ellipsoïde-oppervlak valt, is het gemiddelde reflectievermogen nog beduidend grooter. De ellipsoïde en de kegel zijn tot

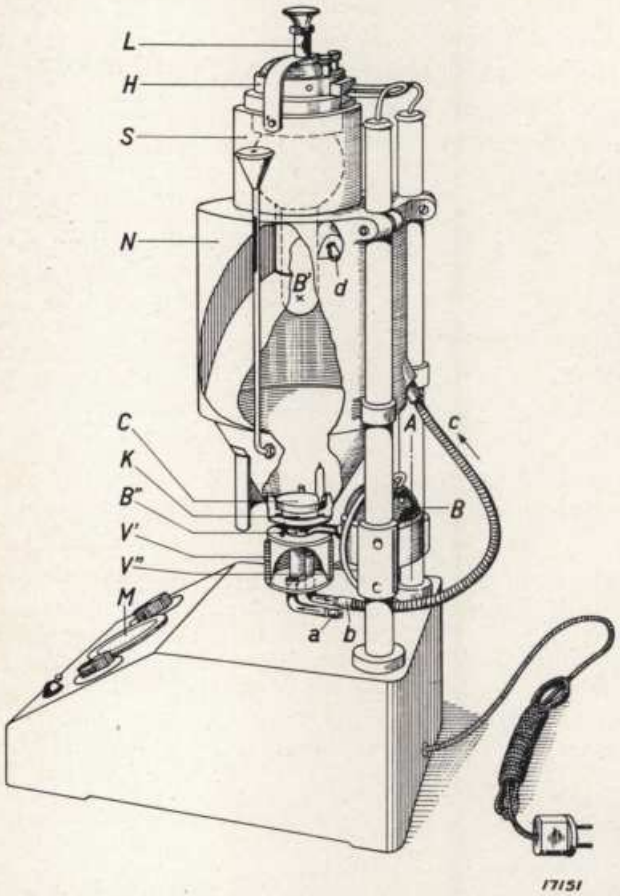

Fig. 5. Samenstelling van het complete apparaat. Hierin is B' het gloeilichaam der lamp, dat in het brandpunt der ellipsoïde is geplaatst. Doordat de lamp met behulp van een richtflens in de houder H is gevat, komt het gloeilichaam automatisch in het brandpunt B'. C is het kopersulfaatfilter. In B'' bevindt zich het te onderzoeken monster op een draaibare tafel; het kan door een electrisch gedreven ventilator B gekoeld worden.

de rand van de hals met zuiver water gevuld. Het gloeilichaam der lamp bevindt zich in het brandpunt B', de lamp is van een speciale glassoort vervaardigd, zoodat voor springen van de zich in het water bevindende ballon geen gevaar bestaat. Bij C bevindt zich de cuvette. Zij is geplaatst in het water, dat de ellipsoïde vult, omdat ondanks de vóórfiltering door het water nog een zoo groote hoeveelheid warmte in C ontwikkeld wordt, dat bij opstelling in lucht de cuvette springen zou. Op de geschetste wijze opgesteld, wordt de warmte van C naar het water afgeleid. Teneinde de warmte, welke in het water ontwikkeld wordt, te kunnen afleiden, werd om de ellipsoïde een koelmantel N gebouwd, welke bij c leidingwater krijgt toegevoerd, dat bij d afvloeit. Het te belichten monster bevindt zich in het brandpunt B'', dat op een kleine afstand onder K ligt. Het monster wordt op een metalen tafeltje door een cirkelvormig diafragma met 15 mm diameter (dat met behulp der veertjes V' en V'' veerend is gemaakt) vastgehouden, zoodat het voor een gedeelte wordt belicht, terwijl de rest onbelicht blijft. Ondanks de genomen voorzorgsmaatregelen, waardoor de energie der lange golven in de beide lichtfilters wordt geabsorbeerd, is nog afzonderlijke koeling van het monster vereischt. Dit is in het geheel niet verwonderlijk, indien wij bedenken, dat de werkzame verlichtingssterkte op het monster ca. het vijftigvoudige is van die van zonlicht. De groote lichthoeveelheid, die op het monster valt, wordt voor een belangrijk deel in warmte omgezet. We leiden deze warmte af door leidingwater bij a in het inwendige van het tafeltje te voeren, terwijl het bij b wegvloeit; vervolgens vloeit dit water bij c in de koelmantel N. Op deze wijze is een ongewenschte toename van de temperatuur van het monster uitgesloten. Een voorwaarde is, dat het monster zelf behoorlijk de warmte geleidt (of indien dit niet zoo is, dat het voldoende dun is) en in warmtegeleidend contact staat met het metalen tafeltje. Is dit niet het geval, zooals bij een wollen of een ruig monster, dat tusschen de vezels

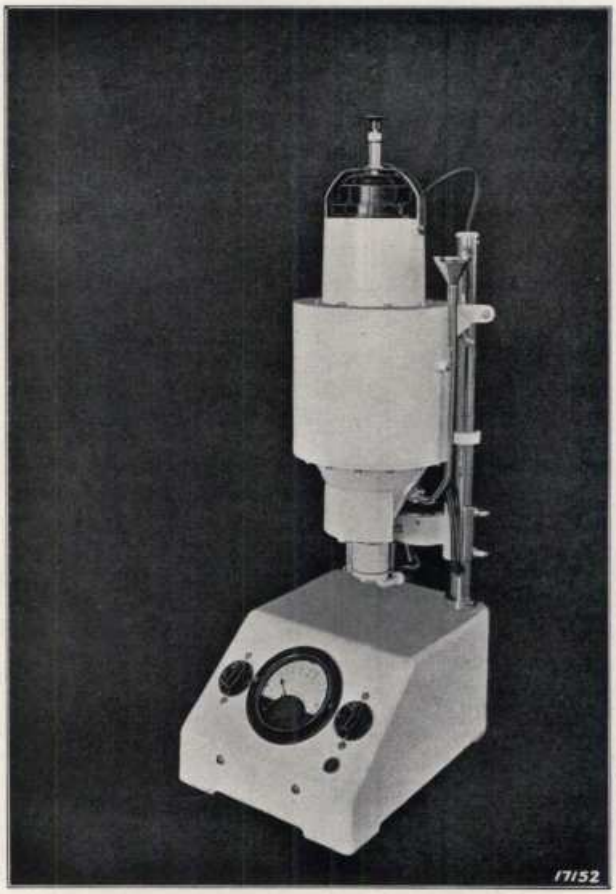

Fig. 6. Aanzicht van het complete lichtechtheidsapparaat. De totale hoogte bedraagt ca. 85 cm.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

warmte-isoleerende lucht bevat, dan is het gewenscht, een snelle luchtstroom over het monster te leiden met behulp van het electrisch aangedreven ventilatortje *B*.

Een enkele opmerking geldt nog de bevestiging van de lichtbron. De gloeilamp is voorzien van een zg. richtflens, waarmede de lamp op eenduidige wijze in een houder *H* gevat kan worden, terwijl *H* op de kap *S* rust en door de beugel *L* wordt vastgehouden. Het gloeilichaam der lamp bevindt zich op deze wijze steeds automatisch in het brandpunt. De voeding van lamp en motor wordt door een transformator geleverd, welke in de voet van het toestel is aangebracht en op het net wordt aangesloten. Op een amperemeter *M* kan men de stroomsterkte der lamp aflezen; deze stroomsterkte is met behulp van twee schakelaars regelbaar. Het uiterlijk van het toestel toont *fig. 6*, terwijl *fig. 7* de tafel voor het monster weergeeft.

Hoewel de ballon van de lamp door het wolfraam, dat tijdens het branden verdampt, vrij snel zwart wordt, blijft door de bijzondere constructie der lamp het zich om het gloeilichaam bevindende gedeelte volkomen helder. De lichtstroom op de plaats van het te onderzoeken monster blijft dan ook tijdens de geheele levensduur van de lamp constant.

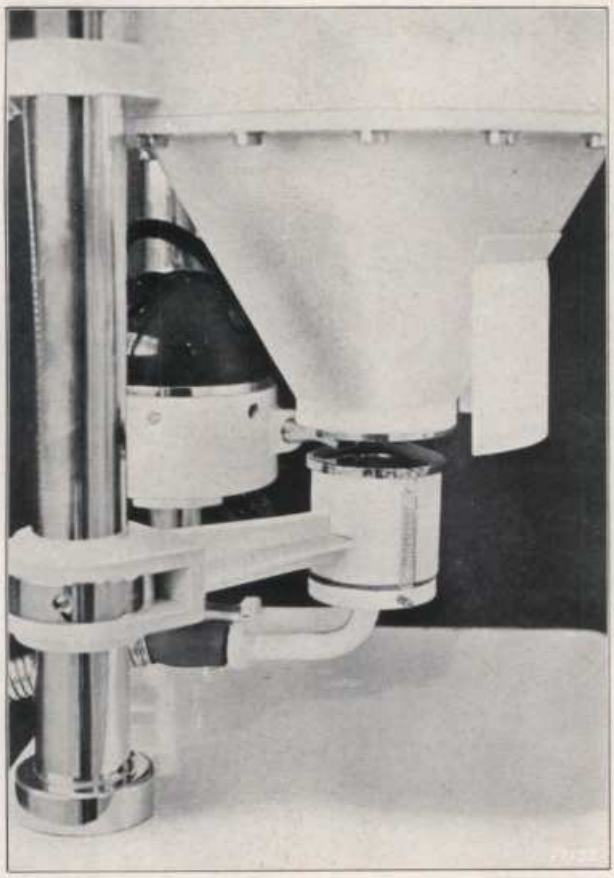

Fig. 7. Aanzicht van de onderzijde van het apparaat, waarop de draaitafel voor het monster en de ventilator met blaaspijp ter eventueele koeling van het monster zijn te zien.

Uitkomsten van met het toestel verrichte onderzoekingen

Behalve de uitgebreide proeven, welke genomen werden om de verhouding der belichtingsintensiteit van toestel en zon vast te stellen, werden verschillende soorten van monsters door middel van vergelijkingsproeven onderzocht. Zoo werden ca. 30 verschillende soorten van offset-drukinkten van de meest uiteenloopende kleuren en lichtechtheden belicht, waarbij zonder uitzondering na 30 minuten belichten onder het toestel een kleurverandering werd gevonden in dezelfde richting en van dezelfde grootte als bij zonbelichting gedurende acht zonnige dagen in September. Ook het vergelen van verscheidene soorten wit papier vindt plaats zooals in de zon; de bekende tint van krantenpapier is na twee uur belichten in een geelbruine kleur veranderd. Slecht lichtechte, gekleurde papiermonsters vertoonen reeds na 3 minuten belichtingstijd een duidelijk effect, terwijl ze na 30 minuten volkomen zijn verbleekt.

Ook werden textielmonsters onderzocht. Als voorbeeld vermelden wij de reeds genoemde blauwe standaardcollectie, welke onder het lichtechtheidstoestel in geheel dezelfde volgorde en op dezelfde wijze als bij zonbelichting van kleur verandert. De collectie bevat 8 monsters, genummerd van I tot VIII, waarbij I slecht, VIII uitstekend lichtecht is. Nr. I vertoont reeds na 3 minuten belichtingstijd onder het toestel een duidelijke verandering, Nr. V een juist merkbare na 1 uur. Indien dus na een belichtingstijd van 1 uur een textielmonster nog geen kleurverandering vertoont, is het zeker voldoende lichtecht.

In verband met de in de praktijk gestelde lichtechtheidseischen is de tijd, gedurende welke het monster zonder van kleur te veranderen belicht moet kunnen worden, bij verschillende soorten monsters verschillend. Van textielstoffen mag men eischen, dat zij minstens één uur, van drukinkten (zwarte en gekleurde) op papier een half uur en van gelakte verfstoffen, dat ze minstens twee uur belicht kunnen worden zonder te veranderen.

In enkele gevallen vonden wij een bijzonder gedrag van sommige textielstoffen, welke bij belichting donkerder worden, bij daaropvolgende nietbelichting echter weer bijna geheel hun oorspronkelijke kleur terugkrijgen, terwijl een rest-effect behouden blijft. Tengevolge van de betrekkelijk

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

geringe intensiteit van zonlicht zal dit verschijnsel onder invloed van zonlicht niet of slechts in geringe mate optreden (bij sommige lithoponen), omdat de stof zich tegelijkertijd herstellen kan. Met zonne-belichting wordt inderdaad na een overeenkomstige belichtingstijd alleen het resteffect bereikt. In het algemeen gedragen zich onder het toestel slechts zeer lichtechte stoffen op een dergelijke wijze. Indien zich zulk een geval voordoet, kan men zich aan dezelfde normen houden, welke voor de zich normaal gedragende stoffen gelden en daarna dan korte tijd wachten om te zien of de donkere nuance verdwijnt.

Tenslotte wijzen wij op de mogelijkheid van normaliseering der lichtechtheid met behulp van dit toestel. Lichtechtheid naar zonne-uren te normaliseeren heeft weinig of geen zin. Waar wij hier een toestel hebben beschreven, dat een lichtbron van constante intensiteit bevat en waarvan de ondervinding leert, dat het hetzelfde effect heeft op een stof, wat zijn kleurveranderende werking betreft, als de zon, bestaat de mogelijkheid, een dergelijke lichtbron als standaard-lichtbron voor lichtechtheidsonderzoekingen in te voeren.

HET ZIEN VAN KLEUREN

door P. J. BOUMA.

Samenvatting. De beginselen van het zien van kleuren worden uiteengezet, waarbij alleen op de kwalitatieve zijde van het vraagstuk wordt ingegaan.

Nagegaan wordt, van welke omstandigheden het ontstaan van een kleurindruk afhankelijk is. Nadat de invloed van de aard van het opvallende licht en van de eigenschappen van het verlichte voorwerp zijn besproken, komen de eigenschappen van het oog ter sprake. Hierbij wordt getoond, hoe we alle kleurindrukken grafisch weer kunnen geven in een plat vlak. Vervolgens wordt de invloed van het optreden van zeer lage helderheden en van het simultaan- en successief-contrast besproken, en tenslotte wordt een enkel woord gewijd aan de theorie van het kleurenzien.

„Wanneer ik naar buiten kijk, zie ik dat het gras groen is".

Met deze opmerking zijn we het allen eens; gewoonlijk realiseeren we ons echter niet, welk een gecompliceerde reeks van processen tot deze eenvoudige uitspraak leidt.

De zon bestraalt het gras met licht, dat vrijwel alle golflengten van het zichtbare spectrum bevat, en wel in bepaalde verhoudingen. Van dit opvallende licht reflecteert het gras een zeker gedeelte; dit percentage is voor de verschillende golflengten niet hetzelfde. Een deel van dit gereflecteerde licht — waarvan de spectrale samenstelling dus verschilt van die van het oorspronkelijke zonlicht — treft ons oog, dringt hierin naar binnen en vormt, na breking door de lens en de vloeistoffen van het oog, een beeld op het netvlies. Het ontstaan van dit beeld veroorzaakt zekere prikkels in de gezichtszenuwen; deze prikkels worden naar de hersenen gevoerd en komen hier tot ons bewustzijn. De indruk, die we hierbij tenslotte verkrijgen, omschrijven we met de woorden: „ik zie het gras groen".

Door dit proces zoo stap voor stap na te gaan, zien we ook, van welke omstandigheden het ontstaan van een bepaalde kleurindruk afhankelijk is.

De invloed van de aard van het opvallende licht

De aard van het licht, dat op het gras valt, kan verschillend zijn en wel in twee opzichten:

1e in kwaliteit (spectrale samenstelling);

2e in kwantiteit (verlichtingssterkte).

Ter illustratie van de invloed van de spectrale samenstelling van het opvallende licht op de kleuren van de verlichte voorwerpen nemen we enkele belangrijke voorbeelden uit de praktijk:

a) Vervangt men het zonlicht door het — praktisch monochromatische — natriumlicht, dan worden alle voorwerpen vrijwel uitsluitend met de golflengten 5890—5896 Å belicht. Hoe ook de reflecteerende eigenschappen van de voorwerpen mogen zijn, ze kunnen nooit ander licht terugstralen dan van deze golflengten [1]). Het gevolg is, dat het oog van elk voorwerp dezelfde lichtsoort opvangt: we zien alle voorwerpen geel, alleen de „donkere" voorwerpen

[1]) We moeten hierbij een uitzondering maken voor de zgn. fluoresceerende stoffen, chemische substanties, die in staat zijn, het er op vallende licht om te zetten in licht van andere (grootere) golflengte. Als voorbeeld noemen we het rhodamine, dat het gele natriumlicht in rood licht omzet; deze stof is dus van practisch belang om verkeersborden bij natriumverlichting hun opvallend roode kleur te doen behouden.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

(die dus weinig licht terugstralen) maken de indruk bruingeel te zijn. Er is geen sprake meer van, dat onder deze omstandigheden het gras groen zou zijn.

b) Gebruiken we kwiklicht, dan vertoont onze omgeving al veel meer overeenstemming met de „daglicht-wereld", maar het valt toch op, dat verschillende voorwerpen een „onnatuurlijke", d.w.z. afwijkende kleur vertoonen. Dit vindt in hoofdzaak zijn oorzaak in het feit, dat in het kwiklicht de roode stralen ontbreken en alle blauwe straling practisch tot één golflengte (4358 Å) is samengetrokken. Daar het er op vallende licht een andere spectrale samenstelling heeft dan bij daglicht, zal dit ook voor het gereflecteerde licht het geval zijn: het gevolg is, dat we de kleuren anders zien.

c) Ook wanneer we het licht van gewone gloeilampen gebruiken, ziet onze omgeving er reeds anders uit dan bij daglicht. Dat hier de verschillen minder frappant zijn, komt ten deele, doordat we aan deze lichtsoort zoo gewend zijn, ten deele, doordat het continue spectrum van de gloeilamp veel minder afwijkt van dat van het zonlicht dan bijv. het natrium- en kwiklicht. Zeer opvallend zijn echter de verschillen, wanneer we direct na elkaar een zelfde omgeving in daglicht en gloeilampenlicht zien, of als we van een wit papiertje de eene helft met daglicht en de andere helft met gloeilampenlicht verlichten (door het bijv. bij een kier van het gordijn te houden en de twee helften door een loodrecht erop geplaatst papiertje van elkaar scheiden); in dit geval ziet men de daglichthelft iets blauwachtig getint, de andere helft bleek oranjegeel [2]).

Uit de gegeven voorbeelden blijkt ten duidelijkste, dat de kleur der dingen niet een eigenschap is van de voorwerpen op zichzelf, maar van de combinatie lichtbron-voorwerp-oog.

Laten we de spectrale samenstelling van het licht onveranderd, dan kunnen we de h o e v e e l h e i d er op vallend licht (verlichtingssterkte) en daarmee ook de hoeveelheid teruggestraald licht (helderheid van het voorwerp) binnen wijde grenzen veranderen, zonder dat er een duidelijke invloed waar te nemen is op de aard van de kleurindrukken, die we van de voorwerpen krijgen: het gras ziet er zoowel op een heldere zonnige dag als bij donker weer groen uit. Alleen bij zeer lage helderheden van de voorwerpen (bijv. bij een door de maan verlicht landschap) heeft de helderheid een belangrijke invloed op het karakter van de kleur. Hier komen we nog nader op terug.

[2]) Het verschil wordt hier versterkt door het zgn. s i m u l t a a n c o n t r a s t, waar we straks nog nader op terugkomen.

De invloed van de eigenschappen van het voorwerp

De gele bloem, die in het gras staat, vangt precies hetzelfde zonlicht op als het gras, maar reflecteert van de verschillende golflengten andere percentages dan het gras. Het gevolg is, dat het van de bloem afkomstige licht, dat ons oog treft, een andere spectrale samenstelling bezit dan het van het gras afkomstige licht. Tengevolge van de bijzondere eigenschappen van ons gezichtsorgaan nemen we dit verschil in samenstelling als een k l e u r verschil waar: de bloem is geel, het gras is groen.

De rol, die het voorwerp speelt bij het ontstaan van de kleurindruk, bestaat dus uitsluitend hierin, dat het licht van een bepaalde golflengte λ voor een deel $R(\lambda)$ wordt gereflecteerd. Stelt $E(\lambda)$ de spectrale verdeeling van het opvallende licht voor, dan is de spectrale verdeeling van het gereflecteerde licht: $R(\lambda)\cdot E(\lambda)$.

Heeft R voor alle golflengten dezelfde waarde, dan heeft het gereflecteerde licht dezelfde spectrale samenstelling als het opvallende en wekt (mits R niet al te klein is) ook dezelfde kleurindruk op. Bij daglicht bekeken ziet een dergelijk voorwerp er wit uit (of grijs, wanneer R klein is) en men is dan ook gewoon, in een dergelijk geval kortweg van een „wit voorwerp" te spreken, hoewel dit voorwerp er bijv. bij natriumverlichting natuurlijk geel uit zou zien.

Heeft R niet voor alle golflengten dezelfde waarde, dan heeft het gereflecteerde licht een andere samenstelling dan het opvallende. Een dergelijk voorwerp ziet er in het algemeen bij daglicht niet wit uit; we spreken in dit geval gewoonlijk van een gekleurd voorwerp, ondanks het feit, dat het bij een ander opvallend licht in het algemeen een andere kleurindruk zal geven (eventueel zelfs wit!).

De „normale" mengeigenschappen van het oog

Het gezichtsorgaan [3]) functioneert tegelijkertijd als ontvangtoestel, als omvormer en als apparaat voor het weergeven van kleuren, en vormt dus de

[3]) Onder „gezichtsorgaan" verstaan we de combinatie van het eigenlijke oog met de gezichtszenuw en het deel der hersenen, dat tot de bewustwording van de kleurindruk bijdraagt. Ook het woord „oog" moet gewoonlijk in deze ruime zin opgevat worden; van vele processen weten we nl. niet, in welk deel van het gezichtsorgaan ze zich afspelen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

meest gecompliceerde schakel in het proces van de vorming van de kleurindruk.

We geven eerst een korte opsomming van de problemen, die zich hierbij voordoen:

1) Hoe functioneert het oog als apparaat voor de menging van stralen van verschillende golflengten, m.a.w. welke kleurindrukken hebben de verschillende spectrale mengsels, die het oog kunnen treffen, tengevolge?
2) Hoe veranderen deze eigenschappen, wanneer we met zeer kleine helderheden te maken hebben?
3) Welke invloed ondervindt bij zijn beoordeelingen van kleuren het oog van anders gekleurde voorwerpen, die tegelijkertijd in het gezichtsveld aanwezig zijn?
4) Ondervindt het oog in zijn eigenschappen invloeden van korte tijd te voren ontvangen lichtindrukken?
5) Welke individueele afwijkingen treden in de „kleureigenschappen" van het oog op?

Om een inzicht in het eerste dezer problemen te krijgen, stellen we ons voor, dat de vier andere invloeden uitgeschakeld zijn, m.a.w., we nemen met een goed uitgerust, normaal oog een voorwerp waar, waarvan de helderheid boven een zekere grens (ca. 3 kaars/m²) ligt, terwijl er zich geen anders gekleurde voorwerpen tegelijkertijd in het gezichtsveld bevinden. Onder deze omstandigheden willen we nu nagaan, welke verschillende kleurindrukken correspondeeren met de verschillende spectrale verdeelingen, welke het licht, dat het oog treft, kan bezitten [4]).

Elke bepaalde spectrale verdeeling zal een bepaalde kleurindruk bij ons opwekken. Is nu het omgekeerde ook het geval? Kunnen we uit de aard van de ontvangen kleurindruk ook afleiden, hoe de spectrale samenstelling van het licht was? Deze vraag moeten we ontkennend beantwoorden. Een bepaalde kleurindruk kan ontstaan zijn uit geheel verschillende spectrale samenstellingen. Men denke slechts aan het bekende verschijnsel van de complementaire kleuren: een combinatie van twee spectrale kleuren (bijv. blauw 4800 Å en geel 5800 Å) kan volkomen dezelfde kleurindruk wekken als het continue zonnespectrum.

Evenals we in dit geval de kleur van het zonlicht „nagebootst" hebben door menging van twee spectrale kleuren, blijkt het ook mogelijk te zijn om door geschikte menging van d r i e vaste spectrale kleuren (bijv. rood 7000 Å, groen 5200 Å en blauw 4800 Å) bijna alle samengestelde kleuren na te bootsen [5]).

Een goed overzicht van deze mengingen kunnen we verkrijgen door ze grafisch voor te stellen; hierbij wordt elke kleurindruk weergegeven door een bepaald punt in het vlak van teekening. In *fig. 1* geven we de drie genoemde spectrale kleuren („grondkleuren") weer door de drie punten *1*, *2* en *3*. Om nu de andere kleurindrukken in de teekening aan te geven, maken we de algemeene afspraak, dat we de mengsels van twee kleuren zullen weergeven door de punten op de verbindingslijn der twee punten, die de genoemde twee kleuren voorstellen. Zoo bevat de lijn *1-2* bijv. alle kleurindrukken, die door een geschikte menging van *1* en *2* nagebootst kunnen worden. De plaats van het mengsel op de lijn wordt bepaald door de verhouding, waarin we de beide componenten moeten mengen: naarmate we bijv. een grooter percentage van kleur *1* moeten nemen, geven we dit aan

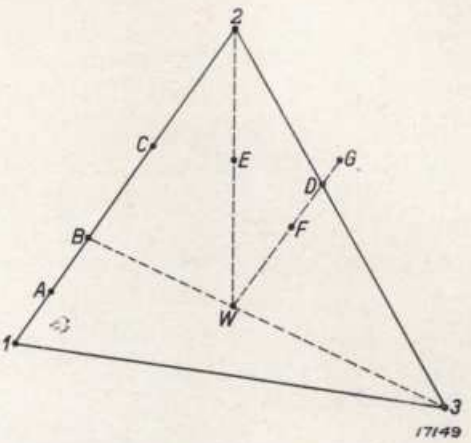

Fig. 1. Menging van kleuren uit de drie grondkleuren: *1* rood 7000 Å; *2* groen 5200 Å; *3* blauw 4800 Å. *W* stelt wit voor; *A*, *B*, *C*, *D* achtereenvolgens oranje, geel, geelgroen en blauwgroen; de lijn *1-3* bevat de purpers. *G* stelt spectraal blauwgroen voor, dat met wit (*W*) gemengd moet worden om het blauwgroen *D* op te leveren; *E* ontstaat door menging van *W* en *2*.

---

[4]) We laten hierbij in het midden of het licht, dat het oog treft, direct afkomstig is van de lichtbron, of eerst door een voorwerp gereflecteerd is.

[5]) Men verwarre de hier bedoelde menging vooral niet met de m e n g i n g v a n k l e u r s t o f f e n; hiervoor gelden geheel andere wetten. De twee mengprocessen zijn geheel verschillend van aard: in het eerste geval wordt een bepaalde lichtsoort met een andere gemengd door ze tegelijkertijd op het oog te laten vallen of ze — bijv. met behulp van een sectorenschijf — in snelle opeenvolging aan het oog te vertoonen. In het tweede geval absorbeeren de beide kleurstoffen elk een bepaald deel van het opvallende licht. Ook het resultaat van de menging is geheel verschillend: mengt men geel en blauw op de eerstgenoemde manier, dan zullen ze, bij juiste keuze van de verhouding, als complementaire kleuren w i t of grijs leveren. Mengt men echter een blauwe en een gele kleurstof, dan absorbeert de eerste stof het rood en geel, de tweede het blauw uit het zonlicht: we houden een g r o e n e kleur over.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

door een dichter bij *1* gelegen punt[6]). Om nu de plaats te bepalen van een kleur (bijv. het wit), dat slechts nagebootst kan worden door menging van alle drie de grondkleuren, veronderstellen we, dat eerst de benoodigde bijdragen van *1* en *2* zijn gemengd. Dit mengsel wordt door het punt *B* weergegeven. Het wit ontstaat door een geschikte menging van *B* en *3* (*B* is dus een complementaire kleur van *3*!). Het punt *W* komt dus op de lijn *B-3* te liggen; de plaats op deze lijn wordt bepaald door de mengverhouding van *B* en *3*. Daar elke kleurindruk door geschikte menging van de drie grondkleuren verkregen kan worden, zal nu elke kleurindruk door een punt in het vlak van de driehoek *1-2-3* worden weergegeven. Hoe liggen nu de verschillende kleuren in dit vlak?

De mengsels van *1* en *2* zijn: oranje (*A*), geel (*B*) en geelgroen (*C*). Op de lijn *2-3* liggen de verschillende tinten blauwgroen, bijv. *D*); op de lijn *1-3* liggen purperkleuren. Uit de afspraak omtrent de mengsels blijkt nu, dat twee kleuren complementair zijn, wanneer het punt *W* op hun verbindingslijn ligt. Als voorbeeld diene het kleurenpaar *B-3*. Verder zien we, dat de kleurindruk *E* nagebootst kan worden door menging van het spectrale groen *2* met wit *W*; dit mengsel maakt de indruk van een „onverzadigd" (vaal, bleek, weinig fel) groen. Naarmate het punt *E* dichter bij *2* komt, wordt de kleur steeds dieper om tenslotte in *2* zijn maximale verzadiging te bereiken.

Beweegt zich een punt *F* langs de lijn *W-D*, dan vinden we een eveneens steeds dieper wordend blauwgroen; in tegenstelling met het vorige geval is hier echter in *D* nog niet de maximale verzadiging bereikt. Onder de spectrale kleuren bevindt zich n.l. een nog fellere kleur blauwgroen; deze moet nog met een zekere hoeveelheid wit gemengd worden (bleeker gemaakt!) om het punt *D* op te leveren. Volgens onze afspraak omtrent het mengen moeten we dus dit spectrale blauwgroen weergeven door een punt *G* op het verlengde van *W-D*: het punt *D* moet tusschen *W* en *G* liggen.

Een zelfde beschouwing geldt nu voor alle spectrale kleuren: ze worden alle (met uitzondering van *1*, *2* en *3*) voorgesteld door punten buiten de driehoek *1-2-3*.

In *fig. 2* is dezelfde driehoek *1-2-3* nog eens geteekend, maar nu met de spectrale kleuren erbij. De getallen geven de golflengten aan. Trekken we nog de lijn *1-V* (die de beide uitersten van het spectrum verbindt), dan volgt weer uit onze

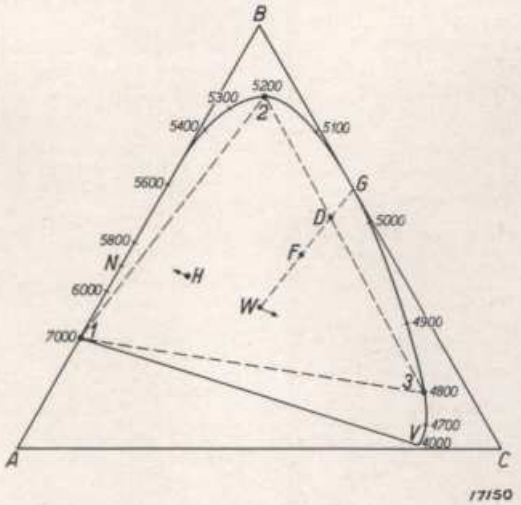

Fig. 2. De figuur stelt hetzelfde voor als fig. 1; de kromme bevat de spectrale kleuren; de driehoek *ABC* is er omheen geteekend om de kleuren in getallen uit te kunnen drukken. *H* stelt gloeilampenlicht voor, *N* natriumlicht.

„mengafspraak", dat nu alle kleurindrukken weergegeven worden door punten binnen de figuur, die door de spectraalkromme en de lijn *1-V* wordt omsloten. (Immers, alle kleurindrukken ontstaan door menging van spectraalkleuren, en bij die menging blijft men steeds binnen de genoemde figuur).

Men noemt nu de golflengte van de spectraalkleur *G* de domineerende golflengte van de kleurindruk *F*. Kan men *F* nabootsen door menging van een lichtstroom L_1 van wit licht en een lichtstroom L_2 van het spectraallicht *G*, dan noemt men $L_2/(L_1 + L_2)$ de verzadigingsgraad van de kleur *F*. Deze is dus voor het wit gelijk aan nul, neemt langs *W-G* voortdurend toe en bereikt op de spectrale kromme zijn maximale waarde (nl. *1*). Op de lijn *1-V* liggen de meest verzadigde purperkleuren.

Om de verschillende kleurindrukken in getallen uit te drukken, teekent men bijv. een gelijkzijdige driehoek *ABC* (fig. 2), waar de spectrale kromme geheel binnen ligt en legt de plaats van het punt, dat een bepaalde kleurindruk weergeeft, vast door de verhouding van de afstanden van dat punt tot de drie zijden van *ABC*. Op deze wijze wordt elke kleurindruk door de verhouding van drie getallen gekarakteriseerd.

De invloed van de helderheid op de meng-eigenschappen van het oog

Zooals reeds werd opgemerkt, gelden de juist behandelde „normale" meng-eigenschappen van het

[6]) Kwantitatief kunnen we alles zoo inrichten, dat deze afspraak nooit tot tegenstrijdigheden voert. Op deze kwantitatieve zijde van het vraagstuk zullen we in een volgend artikel nog nader terugkomen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

oog alleen boven een zeker helderheidsniveau (ca. 3 kaars/m²). Beneden deze grens spelen nl. behalve de kegeltjes ook de staafjes een rol [7]). De invloed hiervan op de waarneming der kleuren kunnen we in groote trekken als volgt beschrijven: Wanneer we uitsluitend met de staafjes waarnemen (uiterst lage helderheden), dan zien we geen kleurverschillen: alles neemt een grijze kleur aan. Bevinden we ons in het helderheidsgebied, waar beide organen functioneeren, dan moeten we dus verwachten een mengkleur waar te nemen van de kleur, die we bij gebruik van de kegeltjes zouden zien (bijv. *F* in fig. 2) en het „staafjesgrijs". Volgens onze mengregel zullen we dus, wanneer we van een kleur *F* uitgaan, en hiervan de helderheid steeds kleiner maken (bij onveranderde spectrale verdeeling!), tenslotte een kleurindruk krijgen, die overeenstemt met een punt tusschen *W* en *F*. Anders uitgedrukt: in het overgangsgebied van het kegeltjeszien naar het staafjeszien worden de kleuren steeds valer, om tenslotte bij zeer lage helderheden alle in het staafjesgrijs over te gaan. Een dergelijk verschijnsel neemt men inderdaad waar bij het invallen der duisternis. De snelheid, waarmee de kleuren valer worden, hangt af van de keuze van de kleur. Ook de helderheidsverhoudingen tusschen de verschillende kleuren veranderen bij het invallen van de duisternis [8]).

Het simultaan contrast

We hebben tot dusver ondersteld, dat de te onderzoeken kleur de eenige in het gezichtsveld aanwezige was. Verschijnt er naast deze kleur nog een andere in het gezichtsveld, dan doet zich het merkwaardige verschijnsel voor, dat de oorspronkelijke kleur er anders uit gaat zien, dan toen hij alleen aanwezig was. Het verschil tusschen de twee kleuren wordt door hun gelijktijdige aanwezigheid nog geaccentueerd (simultaan contrast). Met behulp van fig. 2 kunnen we dan ook voorspellen, in welke richting de kleurverschuivingen ongeveer zullen plaatshebben: de twee punten in de kleurendriehoek zullen zich van elkaar af bewegen, als het ware elkaar afstooten. Dit verklaart het resultaat van het boven beschreven proefje ter vergelijking van het witte daglicht (*W*) en het geelachtige gloeilampenlicht (*H*); door simultaan contrast gaan de punten verder uiteen: het daglicht wordt blauwachtig, het kunstlicht duidelijk oranje-geel. Ook het bekende effect, dat gelijktijdige aanwezigheid van natriumlicht (*N*) en gloeilampenlicht (*H*) het laatstgenoemde blauwachtig doet schijnen, is op dezelfde manier te verklaren [9]).

Ook nog op geheel andere wijze doet de invloed van de omgeving op een kleurindruk zich gelden. Het zal den lezer opgevallen zijn, dat bij de beschrijving van de kleurendriehoek het grijs en het bruin niet ter sprake kwamen. Zooals we reeds boven opmerkten, krijgen we de indruk „grijs", wanneer het voorwerp dezelfde lichtsoort uitzendt als een „wit" voorwerp, maar tevens een lage reflectiecoëfficiënt heeft. Grijs is dus eigenlijk hetzelfde als wit, met dien verstande, dat een wit voorwerp in het algemeen een hoogere helderheid heeft dan zijn omgeving, een grijs voorwerp een lagere: de omgeving doet door simultaan contrast het wit grijs worden. Verlicht men een wit en grijs papier in een donkere omgeving elk afzonderlijk, en het grijs bijv. vijf maal zoo sterk, dan is het mogelijk om de twee papieren er volkomen hetzelfde te doen uitzien.

Op dezelfde wijze als nu het grijs door simultaan contrast uit het wit ontstaat, ontstaat het bruin uit het geel, oranje of rood. Ook dit kan men door een analoog proefje laten zien. In geringere mate treedt ook hetzelfde effect op bij het groen: er ontstaat bij lage reflectiecoëfficiënten het zoogenaamde olijfgroen.

Tenslotte merken we nog op, dat het simultaan contrast op dezelfde wijze als het de kleurverschillen versterkt, ook de helderheidsverschillen accentueert: een wit vlekje temidden van een groot zwart veld lijkt veel helderder dan hetzelfde wit op een groot wit veld.

Het successief contrast

Hieronder verstaan we de invloed van een voorafgaande belichting van het oog op de beoordeeling der kleuren. De effecten zijn van dezelfde aard als bij het simultaan contrast: ook wanneer we het oog lange tijd aan een natriumverlichting gewend hebben, komt het witte licht ons blauwachtig voor.

Is de intensiteit van de voorafgaande belichting zeer hoog geweest (hebben we bijv. in een lamp gekeken), dan treedt het verschijnsel op in de vorm van een nabeeld: we zien nog eenige tijd de vorm van het vroeger gefixeerde voorwerp voor ons, soms licht, soms donker tegen de omgeving afstekend en vaak in geheel andere kleuren dan de oorspronkelijke. Dergelijke nabeelden zijn zeer hinderlijk voor het zien en spelen bij het verblindingsvraagstuk een groote rol.

---

[7]) Voor de beteekenis van de staafjes en kegeltjes zie: Philips techn. T. 1, 105, 1936.

[8]) Zie hiervoor: Philips techn. T. 1, 142, 1936.

[9]) Het effect is hier bijzonder sterk, dank zij de groote verzadiging van het natriumlicht.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Digitized by www.freeservicemanuals.info

De theorie van het zien van kleuren

Hierover willen we kort zijn: we komen hierbij min of meer buiten het kader van dit tijdschrift en bovendien is omtrent het mechanisme van het zien van kleuren nog weinig met zekerheid bekend.

De verschijnselen van het mengen van kleuren hebben aanleiding gegeven tot twee groote groepen van theorieën, die later in allerlei richtingen zijn uitgebreid.

De eerste, waarvan we Young en Helmholtz als scheppers mogen beschouwen, neemt aan, dat zich in het oog een drietal processen kunnen afspelen; het eerste proces wordt het sterkst gestimuleerd door rood licht, het tweede door groen, het derde door blauw licht. Met deze onderstelling zijn de experimenteel gevonden mengwetten gemakkelijk te begrijpen; elke kleur prikkelt de drie „grondprocessen" in een bepaalde verhouding en is dus inderdaad door de verhouding van drie getallen te karakteriseeren. Bovendien kunnen we met deze theorie gemakkelijk het bestaan van verschillende groepen kleurenblinden verklaren door de eenvoudige onderstelling, dat bij hen één der drie grondprocessen niet functioneert.

De andere theorieën, het eerst door Hering naar voren gebracht, nemen drie processen aan, die elk in twee richtingen kunnen verloopen: een blauw-geel proces, een rood-groen proces en een zwart-wit proces; blauw licht zou het eerste proces naar de eene, geel licht naar de andere zijde doen verschuiven, enz. Een dergelijke theorie verschaft ons meer inzicht in de processen van simultaan en successief contrast, nabeelden, vermoeidheidsverschijnselen, enz. maar kan ons niet zoo'n ongedwongen verklaring van de kleurendriehoek geven als die van Helmholtz.

Men is er tot dusverre nooit in geslaagd, anatomisch aan te toonen, dat zich op het netvlies drieërlei organen bevinden, of dat er zich drieërlei chemische processen afspelen.

Tenslotte een opmerking over het binoculaire mengen van kleuren: stelt men de beide oogen aan verschillend gekleurd licht bloot, dan treedt voor vele personen een mengkleur op; voor het mengproces gelden in groote trekken dezelfde mengregels als voor het gewone mengen. Andere personen slagen er niet in, deze mengkleur te zien: ze zien dan meestal één der beide oorspronkelijke kleuren. Uit de mogelijkheid van binoculair mengen moet men wel de conclusie trekken, dat de mengprocessen — of althans de vereeniging van de grondkleuren tot een enkelvoudige kleurindruk — zich niet op het netvlies of bij de gezichtszenuw afspelen, maar eerst verderop, wellicht pas in de hersenen.

OVERZICHT VAN RECENTE WETENSCHAPPELIJKE PUBLICATIES DER N.V. PHILIP'S GLOEILAMPENFABRIEKEN *)

No. 1092: M. Ziegler: Shot effect of secondary emission. II (Physica **3**, 307 tot 316, Mei 1936).

De coëfficiënt van secundaire emissie en de fluctuatie van de secundaire stroom hangen af van de energie der primaire electronen en van de aard der gebombardeerde electrode. In vervolg op een vorige publicatie (**No. 1066**) gaat de schrijver na, door welke meervoudige electronenladingen de stroom wordt gevormd. Het quotiënt van de coëfficiënt der secundaire emissie en de coëfficiënt van de secundaire stroomfluctuaties geeft een indruk van het percentage werkzame primaire electronen en derhalve van de kwaliteit der versterking door secundaire emissie, wat betreft de relatieve belangrijkheid der stroomschommelingen vóór en na de versterking. Voor een nikkelplaatje, bedekt met een geactiveerd laagje barium- en strontiumoxyd, zijn deze verschijnselen onderzocht in afhankelijkheid van de snelheid der primaire electronen.

No. 1093: A. E. van Arkel, E. J. W. Verwey and M. G. van Bruggen: Ferrites I (Rec. Trav. chim. Pays-Bas **55**, 331 tot 339, Mei 1936).

Van sterk (eenige uren op 1200 à 1300°C) verhitte mengsels van oxyden van tweewaardige metalen (MO) met ferrioxyde (Fe_2O_3) in verschillende verhoudingen werden röntgenopnamen gemaakt, waaruit blijkt, dat mengsels die veel Fe_2O_3 bevatten een onderling overeenstemmende structuur hebben. Voor hooge temperaturen (gemeten tot 1300°) strekt het gebied der ferrietphase (met spinel-

*) Van deze publicaties verstrekt de Administratie van het Natuurk. Laboratorium, Kastanjelaan, Eindhoven, op aanvrage gaarne overdrukken.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

structuur) zich ver uit naar de kant van het Fe_2O_3. Bij lagere temperaturen (800° tot 1000°) trekt dit gebied zich sterk samen. De vaste oplossingen, waarin het gehalte aan ijzer grooter is dan volgens de verhouding: MO: Fe_2O_3 = 1 : 1, zijn kristallografisch op te vatten als „verschilphasen" volgens Hägg. Er zijn geen verbindingen aanwezig van de samenstelling $2MO \cdot 3\,Fe_2O_3$, die door Hilpert werden aangenomen.

No. 1094: E. J. W. Verwey, A. E. van Arkel and M. G. van Bruggen: Ferrites II (Rec. Trav. chim. Pays-Bas **55**, 340 tot 347, Mei 1936).

Bij hooge temperaturen (tot 1400°C) werd onderzocht, in welke verhoudingen ferrieten mengbaar zijn met metaaloxyden. Bruinsteen (Mn_3O_4) lost belangrijke hoeveelheden Fe_2O_3 op (bij 1300°C tot Mn_3O_4 : Fe_2O_3 = 1 : 6), waarbij dan zijn tetragonale rooster geleidelijk overgaat in het kubische rooster van ferriet. De vaste oplossingen van MgO met $MgFe_2O_4$ en van NiO met $NiFe_2O_4$, die bij hooge temperaturen ontstaan, ontmengen weer langzaam bij ongeveer 1000° C. Voor de ferrieten is de elementaircel met groote benadering dubbel zoo groot als die voor de oxyden. De ontmenging kan men dus röntgenografisch alleen nagaan aan de hand van berekende en waargenomen intensiteiten der buigingslijnen. Met magnetische metingen kan de ontmenging veel nauwkeuriger worden aangetoond dan met röntgenografische en daarmee weer veel beter dan met microscopische waarneming. Bij een verhouding van CuO : Fe_2O_3 = 3 : 1 treedt in koperferriet een nieuwe verbinding op.

No. 1095: J. H. de Boer and J. D. Fast: The α-β transition in zirconium in the presence of hydrogen (Rec. Trav. chim. Pays-Bas **55**, 350 tot 356, Mei 1936).

Door α- zoowel als door β-zirconium wordt waterstof opgenomen. De oplosbaarheid neemt in beide modificaties af met toenemende temperatuur. Als α-zirconium bij stijgende temperatuur, onder aanwezigheid van waterstof, wordt omgezet in β-zirconium, wordt waterstof opgenomen. Bij afkoeling gaat het β-zirconium over in de α-modificatie en geeft daarbij waterstof af. De overgang naar α-zirconium schijnt een noodzakelijke voorwaarde te zijn voor het snel opnemen van waterstof door een zirconiumdraad bij afkoeling, welk verschijnsel het eerst werd waargenomen door Clausing en Ludwig.

No. 1096: A. G. Boer, E. H. Reerink, A. v. Wijk and J. v. Niekerk: A naturally occurring chicken provitamin-D (Proc. Kon. Akad. Wet. **39**, 622 tot 632, Mei 1936).

In dit artikel worden de bereidingswijze en de eigenschappen beschreven van het provitamine D, dat een bestanddeel is van cholesterol. De om verschillende redenen waarschijnlijke structuurformule wordt bevestigd door diverse reacties en bewezen door vergelijking met zuiver synthetisch 7-dehydrocholesterol, waarmede het nieuwe provitamine D identiek blijkt te zijn. Door bestraling verkrijgt men een vitamine D, dat in zijn antirachitische werking op kuikens overeenstemt met het vitamine D uit levertraan.

No. 1097: W. Uyterhoeven et C. Verburg: Température des électrons (T_e) dans une décharge en colonne positive dans un mélange Ne-Na (C. R. Acad. Sci. Paris **202**, 1498 tot 1500, Mei 1936).

Vroeger werd door de schrijvers aangegeven (zie overzicht No. **1047**), dat door een kleine hoeveelheid natriumdamp toe te voegen aan een positieve zuilontlading in neon het spanningsverval belangrijk kan toenemen. In dit artikel worden sondemetingen aan een Ne-Na-mengsel besproken. De temperatuur der electronen (T_e) en de ionenconcentratie (n_p) werden gemeten als functie van de temperatuur van de buiswand, d.w.z. als functie van de Na-concentratie. De electronentemperatuur bereikt een maximumwaarde van ongeveer 23 000° K bij één atoom Na op 10 000 atomen Ne. Bij zuiver neon is deze onder gelijke omstandigheden 19 500° K.

Rectificatie: In tegenstelling tot de bewering op pag. 193, halverwege de tweede kolom, is in fig. 1 (art. Plantenbestraling) het absorptiespectrum van chlorophyl niet geteekend, aangezien het vrijwel met de assimilatiekromme overeenstemt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!